

ГИПЕРГЕННЫЕ НОВООБРАЗОВАНИЯ ЗОЛОТА ИЗ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НИЖНЕ-МЯКИТСКОГО РУДНО-РОССЫПНОГО ПОЛЯ, СЕВЕРО-ВОСТОК РОССИИ

И.С.Литвиненко,
Л.А.Шилина

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А.Шило ДВО РАН,
г. Магадан

Изученные гипергенные новообразования золота представлены высокопробными каймами и прожилками в гипогенном золоте и различными разновидностями вторичного золота. Образования вторичного золота относятся к губчатому и «горчичному» видам. Губчатые выделения сложены агрегатами сросшихся глобул весьма высокопробного самородного золота размером 1–3 мкм. Для «горчичных» образований характерен сотовый каркас из сросшихся микрочастиц самородного золота чаще всего пробностью 800–900‰, обычно переходящий в монолитную более высокопробную оболочку. Поровое пространство в губчатом и «горчичном» золоте нередко заполнено в разных пропорциях оксидами (гидроксидами) золота и железа. В небольшом количестве отмечены дисперсные агрегаты гидроксидов золота и железа.

Ключевые слова: Северо-Восток России, россыпи, зона гипергенеза, вторичное золото.

Несмотря на то что Северо-Восток России – крупнейший и богатейший регион экзогенной золотоносности, вопросы образования гипергенных минеральных выделений золота (самородного и его соединений) в процессе разрушения коренных источников и формирования многочисленных россыпных месторождений остаются слабо изученными. Это связано с тем, что основная масса россыпных месторождений здесь формировалась за счёт коренных источников малосульфидной золото-кварцевой формации с крупным самородным золотом. Активное же развитие гипергенных новообразований золота отмечается при разрушении рудных проявлений с высоким содержанием сульфидов и химических соединений золота с другими элементами, большим количеством тонкодисперсных выделений самородного золота в сульфидах [12]. Гипергенные новообразования золота на Северо-

Востоке России рассматривались в отдельных публикациях [15, 17 и др.].

В последние годы активные поиски и разведка на Северо-Востоке России золото-серебряных и золото-редкометалльных рудных месторождений нашли отражение в появлении серии работ, посвящённых распространённым на этих месторождениях гипергенным минералам (в том числе соединениям золота). Теоретические обоснования развития процессов гипергенного минералообразования в зонах окисления эпохи планации рельефа на Северо-Востоке России изложены в работах [8, 13, 14 и др.].

Авторами гипергенные новообразования золота выявлены в слабо преобразованных аллювиальными процессами остаточных россыпях Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля Мякит-Хурчанского золотоносного узла. Химический состав их определялся на микросондовом

анализаторе Camebax № 304 (Cameca) с применением энергодисперсионного рентгеновского спектрометра X-Max-50 (Oxford Instruments) (аналитики Т.В.Субботникова, Е.М.Горячева, СВКНИИ ДВО РАН). В целях подтверждения возможности присутствия в них, помимо Au и Ag, других элементов, прежде всего кислорода, они изучались и на сканирующем электронном микроскопе EVO-50 (Karl Zeiss) с рентгеновской системой энергодисперсионного микроанализа Quantax (Bruker) (аналитик О.Т.Соцкая, СВКНИИ ДВО РАН). И хотя полученные с использованием этого приборного обеспечения данные о содержании кислорода полуколичественные и не могут служить основанием для точных расчётов формулы исследованных минеральных образований, представление об их составе они дают. Текстурное строение гипергенных новообразований золота изучалось на сканирующем электронном микроскопе EVO-50 (аналитик О.Т.Соцкая, СВКНИИ ДВО РАН) при увеличениях до 3,5 тыс. раз.

Проведённые исследования позволили расширить известное ранее видовое разнообразие гипергенных выделений золота на Северо-Востоке России, получить новые представления об их генетических особенностях и оценить роль химического фактора в высвобождении золота, участвующего в формировании рассматриваемых россыпей.

Нижне-Мякитское рудно-россыпное поле находится в северо-западной части Мякит-Хурчанского рудно-россыпного узла на юго-восточном фланге Яно-Колымского золотоносного пояса. В тектоническом отношении оно приурочено к зоне юго-восточного замыкания Яно-Колымской складчатой системы вблизи её границы с Охотско-Чукотским вулканогенным поясом (рис. 1). В его пределах в настоящее время известны три рудных проявления и шесть россыпных месторождений (см. рис. 1).

Россыпные месторождения располагаются в долинах р. Мякит и её левых боковых притоках (см. рис. 1). Долины ручьёв хорошо разработаны, корытообразной формы. Поверхность их коренного ложа в поперечном и продольном разрезах неровная с многочисленными западинами и котловинами. Выполняющие долины рыхлые отложения представлены аллювием, подстилающим его долинным элювием (реликты линейной коры химического выветривания) и развитыми у бортов склоновыми образованиями.

Россыпи представляют собой ленточные залежи, приуроченные преимущественно к пойменной части долин ручьёв. Они состоят из серий элементарных россыпей (богатых блоков), соединяющихся между собой слабо золотоносными участками (см. рис. 1). Золотоносный пласт чаще всего размещается в реликтовых образованиях коры выветривания. Основная масса тяжёлой фракции россыпей представлена оксидами и гидроксидами железа, гематитизированными и лимонитизированными обломками пород. В незначительном количестве отмечаются пирит, галенит, арсенопирит, касситерит, шеелит, вольфрамит, ильменит, халькопирит, самородные золото, медь и серебро. Интересная особенность – присутствие натёчно-скорлуповатых очень плотных образований гидроксидов железа с содержаниями Au до нескольких сотен грамм на 1 т, видимых выделений самородного золота в которых не выявлено. Средняя крупность золота в россыпях варьирует от 0,86 до 1,34 мм. Доля неокатанных золотин по месторождениям составляет до 60%. Они встречаются на всём протяжении россыпей. Генезис россыпей можно охарактеризовать как остаточно-аллювиальный.

Основная масса металла в россыпях имеет гипогенный генезис. По пробности достаточно определённо выделяются четыре группы (генерации) золота: весьма низкопробная (350–500‰), низкопробная (500–700‰), низко-среднепробная (700–850‰) и высокопробная (850–1000‰). В россыпях они присутствуют в различных пропорциях. Их парагенетические ассоциации (табл. 1) указывают на поступление золота из рудных проявлений различных минеральных типов, формировавшихся в ходе развития единой рудно-магматической системы.

Согласно классификации морфогенетических типов золота [2] и установленным типоморфным признакам самородного золота в рудных месторождениях различных формаций [3], гипогенное золото из рассматриваемых россыпей образовалось в ходе гидротермальных процессов в близповерхностных, переходных к среднеглубинным и среднеглубинным условиям в ходе становления золото-серебряного и золото-редкометального оруденения.

Гипергенные образования золота в исследованных россыпях встречаются весьма часто. Они представлены высокопробными оболочками (на срезе золотин каймами), прожилками в гипо-

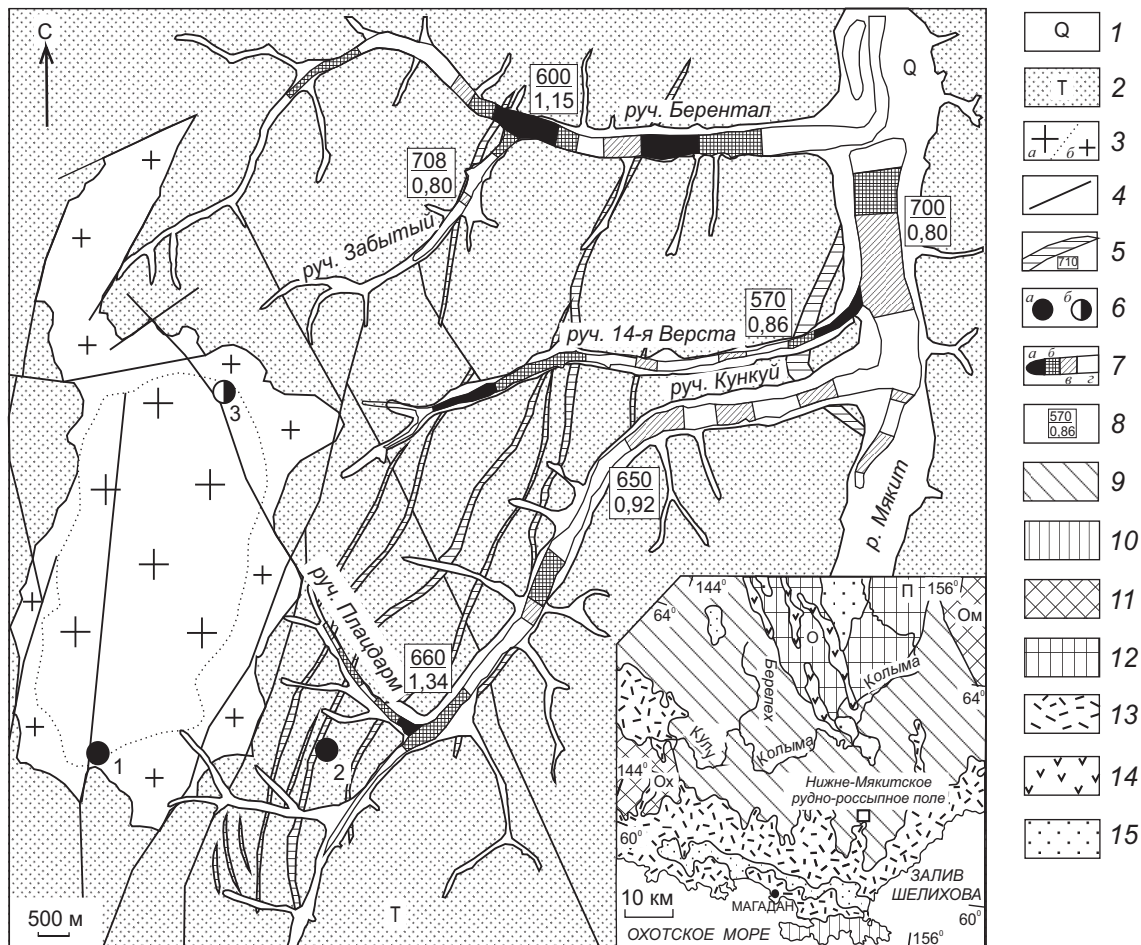


Рис. 1. Геологическая схема Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля:

1 – четвертичные аллювиальные отложения речных долин; 2 – триасовые терригенные и вулканогенно-терригенные отложения Балыгычанского поднятия Яно-Колымской складчатой системы; 3 – раннемеловые интрузии биотитовых гранитоидов среднезернистого (а) и мелкозернистого (б) составов Берентальского штока; 4 – разрывные нарушения; 5 – минерализованные зоны дробления с прожилково-жильным окварцеванием и вкрапленно-прожилковой рудной минерализацией; 6 – рудные проявления с золото-редкометальной (а) и золото-серебряной (б) минерализацией (1 – Фронт, 2 – Кункуйское, 3 – Берентал); 7 – контуры россыпей с очень богатыми (а), богатыми (б), относительно богатыми (в) и бедными (г) участками; 8 – средняя пробность (числитель) и средняя крупность (знаменатель) самородного золота в россыпях по разведочным данным; на врезке: 9 – Верхояно-Чукотская, 10 – Корякско-Камчатская складчатые области, 11 – Охотский (Ох), Омолонский (Ом) срединные массивы, 12 – Омүлёвское (О), Приколымское (П) поднятия, 13 – Охотско-Чукотский, 14 – Уяндино-Ясачненский вулканогенные пояса, 15 – наложенные кайнозойские впадины

генном золоте и различными разновидностями вторичного золота.

Высокопробные каймы на гипогенном золоте, являющиеся зоной его преобразования в гипергенных условиях, в россыпных месторождениях Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля распространены очень широко. Наибольшая доля золотин с гипергенными каймами отмечает-

ся в россыпях р. Мякит, ручьёв Кункуй и 14-я Верста. Меньше их в россыпях ручьёв Забытый, Плацдарм и Берентал (табл. 2).

Колебания доли золотин с высокопробными каймами по рассматриваемым россыпным месторождениям, в первую очередь, объясняются различным содержанием в россыпях выделенных разнопробных групп (генераций) золота.

Золото разных генераций отличается масштабами развития гипергенных преобразований. Высокопробные каймы наиболее характерны для золотин низкопробной и весьма низкопробной генераций (см. табл. 2). Такая особенность развития высокопробных кайм на разнопробном золоте подчёркивается многими исследователями [9, 12 и др.] и объясняется более интенсивным проявлением процессов гипергенных преобразований на более низкопробном золоте. По мнению В.В.Мурзина и А.А.Малюгина [5], большая распространённость высокопробных кайм среди низкопробных золотин может быть связана с более длительным их пребыванием в гипергенной среде.

В нашем случае наибольшая распространённость высокопробных кайм среди низкопробного золота, прежде всего, определяется временным фактором: располагаясь в верхних частях рудных систем, низкопробные разности золота при денудации коренных источников первыми начинали подвергаться гипергенным преобразованиям. Решающая роль в развитии высокопробных кайм временного фактора подтверждается установленной закономерностью возрастания доли золотин с высокопробными каймами в более крупных фракциях металла.

Высокопробные каймы обычно представлены неодинаковыми по ширине фрагментами. Статистических количественных данных об их мощности на золотинах разных генераций нет, но в целом можно отметить, что наибольшую мощность они имеют на золоте низкопробной генерации. Это, очевидно, определяется более ранним поступлением низкопробного золота по сравнению с более высокопробным в зону гипергенеза.

Граница кайм с матрицей очень резкая, часто угловатая. Ширина её не превышает нескольких микрометров (рис. 2). В большинстве случаев примыкающие к границе между высокопробными каймами и неизменённой частью золотин очень слабо выраженные переходные зоны имеют ширину несколько микрометров (см. рис. 2).

Высокопробные гипергенные каймы сложены практически чистым золотом пробностью от 970 до 1000‰. Прослеживается очень слабая положительная зависимость состава каймы от состава материнской золотины (рис. 3, а). Содержание золота в пределах кайм изменяется незначительно (до 1–2 мас. %), возрастая от внутреннего края к внешнему. При этом отмечается ступенчатый характер изменения концентраций золота и серебра (см. рис. 2). Наиболее распро-

1. Минеральный состав микровключений в гипогенном самородном золоте из россыпных месторождений, %

Группа золота, ‰	Пирит	Арсенопирит	Пирротин	Лёллингит	Галенит	Сфалерит	Акантит	Халькопирит	Ютенбогардит	Тетрадимит	Теллурид Bi	Самородные			Сульфотеллуриды		Висмутовые сульфосоли	
												Bi	Pb	Sb	Bi	Ag	Pb	Pb-Ag
350–500	6	6	13	–	38	6	6	–	6	–	–	6	6	–	–	–	6	–
500–700	–	18	9	–	45	–	–	–	–	–	9	10	–	9	–	–	–	–
700–850	8	17	–	8	17	–	–	8	–	–	8	17	–	–	–	8	–	8
850–1000	17	–	–	–	–	–	–	–	–	17	17	33	–	–	17	–	–	–

Примечание. Прочерк – минерал не обнаружен.

2. Доля золотин с высокопробными каймами, %

Россыпи	Число золотин, шт.	Группа самородного золота, ‰				Всего
		350–500	500–700	700–850	850–1000	
руч. Кункуй	121	75,0	88,9	75,9	50,0	75,2
руч. Плацдарм	126	56,3	66,7	37,3	30,8	46,0
руч. 14-я Верста	126	61,3	88,2	37,5	9,1	69,0
руч. Забытый	63	100,0	84,6	19,6	100,0	36,5
руч. Берентал	139	32,0	67,5	46,9	50,0	58,3
р. Мяжит	104	100,0	96,4	87,5	75,0	92,3
Суммарное	679	54,9	81,8	51,7	37,8	64,1

странены каймы пробностью ~1000‰ (см. рис. 3, б). Выявляющаяся на гистограмме дискретность состава кайм указывает на то, что удаление серебра из зоны разрушения гипогенной золотины сопровождается перестройкой первоначальной кристаллической системы Au–Ag с образованием новых стехиометрических соединений этих элементов.

По классификации Г.В.Нестеренко [7], изученные на самородном золоте из россыпных месторождений Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля высокопробные каймы являются каймами замещения и перекристаллизации. Образование кайм замещения, по представлениям Н.В.Петровской [12], связано с процессами электрохимической коррозии. По Дж.К.Гроену с соавторами [20], их образование происходит по разработанной ими модели «самоэлектрорафинирования». Каймы перекристаллизации возникают в результате генерации в приповерхностных слоях золотин дефектов кристаллической решётки золота вследствие выноса атомов серебра [9, 12 и др.], что приводит к проявлению

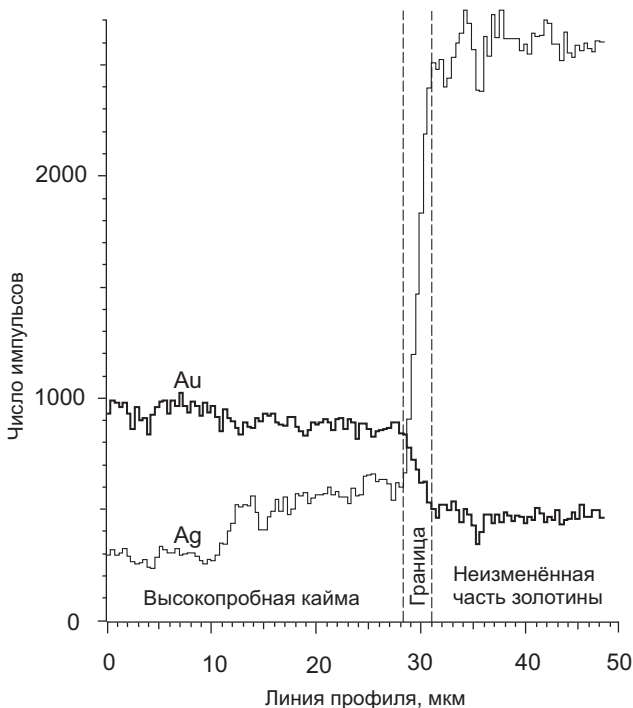


Рис. 2. Характер изменения концентраций золота и серебра в золотине с высокопробной оболочкой от края её среза к центру (монтированный аншлиф, микроанализатор Camebax, энергодисперсионный спектрометр X-Max-50)

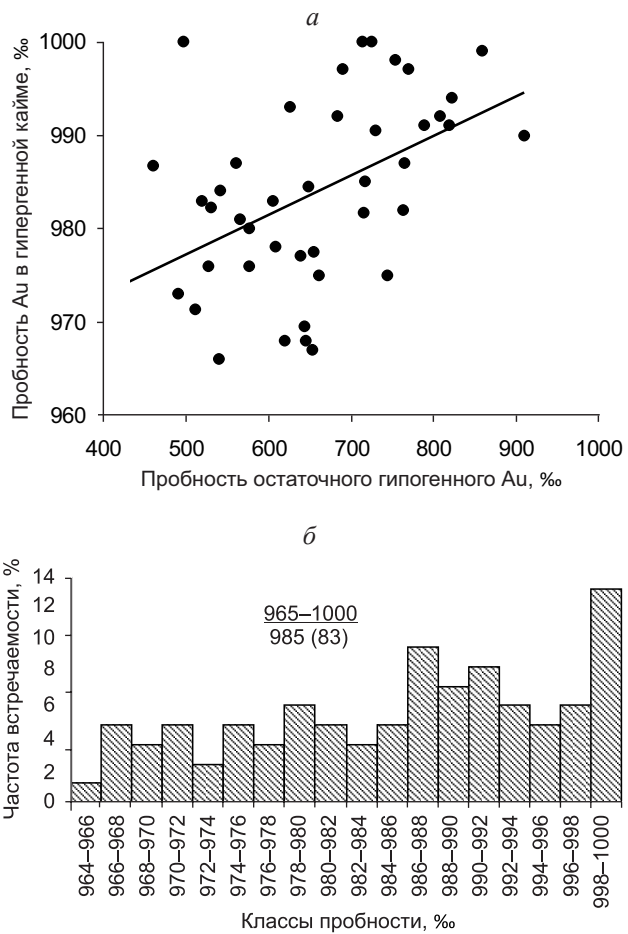


Рис. 3. Зависимость пробности золота в высокопробных гипергенных каймах от пробности остаточного гипогенного золота (а) и гистограмма пробности золота в высокопробных гипергенных каймах (б):

линия тренда построена с использованием линейного уравнения $y=tx+b$; дробь на гистограмме: в числителе – предел колебаний пробности, в знаменателе – средняя пробность, в скобках – число анализов, шт.

процессов перерождения внутренней структуры золота. Их развитие стимулируется механическим деформированием приповерхностных слоёв золотин [17].

Высокопробные прожилки фиксируются сравнительно реже, чем каймы, и обнаружены только в золотинах низкопробной генерации. Они развиваются по границам слагающих золотины зёрен, постепенно выклиниваясь или разветвляясь от поверхности в глубь золотин. Границы прожилков со слагающими золотины зёрнами извили-

стые, слегка размытые. При большом увеличении видно их зубчатое строение. Эти особенности высокопробных прожилков указывают на то, что наиболее вероятный механизм их образования – это вынос в процессе самодиффузии серебра из приповерхностных слоёв слагающих золотины зёрен и проявление интратрудной перекристаллизации золота.

Минеральные соединения золота, отлагающиеся в гипергенных условиях, в минералогической практике получили названия *вторичного* и *нового золота*. Образование первого из них связывают с зонами окисления, второго – с процессами формирования аллювиальных россыпей. Признаков, свидетельствующих об отложении исследованных новообразований золота в ходе развития аллювиальных процессов, не установлено. Все они рассматриваются как вторичное золото. Проявление процессов активного химического выветривания в ходе планации орогенных морфоструктур на изучаемой территории подтверждается присутствием реликтов линейной коры химического выветривания и зон окисления.

По сложению и составу выявленные образования вторичного золота относятся к так называемому губчатому и «горчичному» золоту. В небольшом количестве отмечены слабо изученные агрегаты гидроксидов золота и железа. Анализ имеющихся описаний губчатых и «горчичных» разновидностей вторичного золота показывает, что такое его разделение весьма условно. В данной работе к губчатому золоту нами отнесены гипергенные образования самородного золота, пористое строение которых отчётливо наблюдается в оптическом микроскопе при увеличениях <math><500</math> раз. В россыпях Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля оно распространено локально. Губчатые образования вторичного золота присутствуют главным образом в верхних частях россыпей ручьёв Кункуй и 14-я Верста, в россыпи руч. Плацдарм, а также на локальных участках в устьевой части россыпи руч. Кункуй и в россыпи р. Мякит (устье руч. 14-я Верста). В ходе выполненных исследований изучены самостоятельное зерно губчатого золота, его выделения в углублениях и в виде фрагментов оболочек на поверхности золотин.

Исследованное самостоятельное зерно губчатого золота относится к классу крупности 0,1–0,25 мм. Оно уплощённо-комковидной массив-

ной формы с угловатыми очертаниями и бугорчато-ямчатой поверхностью. Цвет с поверхности жёлтый с матовым блеском. В монтированном аншлифе на сканирующем электронном микроскопе выявлено его очень сложное текстурное строение (рис. 4). Представляет собой агрегат сросшихся друг с другом микрочастиц (глобул) самородного золота, разбитый трещинами различной величины на микроагрегаты. С поверхности он покрыт тонкой монолитной оболочкой самородного золота с наросшим на ней различной плотности и толщины слоем глобул. Наличие данного слоя обуславливает матовый блеск поверхности зерна.

Внешняя оболочка зерна в совокупности толщиной ~1 мкм. Размер глобул в его ядерной части в поперечном сечении колеблется от долей микрометра до 3 мкм и составляет в основном ~2 мкм. Агрегация микрочастиц определяется их срастанием в точках соприкосновения. Срастание, а равно и нарастание микрочастиц, в подобных агрегатах объясняется их высокой поверхностной энергией [11]. При рассмотрении состава зерна следует отметить следующее. Область возбуждения анализируемого материала под действием электронного пучка на используемых приборах составляет в диаметре 4–5 мкм. Поскольку выделения вторичного золота представляют собой агрегаты из микрочастиц размером <math><4-5</math> мкм, в область возбуждения попадает и пространство между частицами. Если оно пустое, то это отражается в дефиците сумм содержания элементов, а если заполнено минеральным веществом, то получается суммарный результат содержания элементов во всех минеральных образованиях, попавших в область возбуждения. Корректно разбраковать его на составляющие не представляется возможным. Это определяет некоторую условность в установлении химического состава входящих в такие агрегаты минеральных соединений и их видового разнообразия.

В исследованном зерне губчатого золота сросшиеся в агрегат глобулы и покрывающая агрегат оболочка сложены практически чистым самородным золотом (табл. 3). Межглобулярное пространство, как правило, пустое, лишь в отдельных случаях в небольшом количестве в нём присутствуют оксидные или гидроксидные (содержание водорода не определялось) соединения золота. Трещины между микроагрегатами

глобул, а также полости между микроагрегатами глобул и внешней оболочкой заполнены в разных пропорциях оксидами (гидроксидами) золота и железа с примесью глинистых частиц.

Образования губчатого золота в углублениях на поверхности золотин, как и самостоятельные губчатые зёрна, очень редки. Выделение губчатого золота в углублении на поверхности весьма низкопробной золотины представляет собой ажурный агрегат из сросшихся удлинённых мелких (в поперечнике <1 мкм) глобул (см. рис. 4, в), сложенных очень высокопробным самородным золотом (см. табл. 3). Пространство между ними заполнено чередующимися в различных пропорциях оксидами (гидроксидами) золота и железа, на отдельных участках с примесью глинистых частиц.

Фрагментарные оболочки губчатого золота наиболее распространены на золотилах весьма низкопробной генерации (табл. 4). Связано это, очевидно, с минеральным составом и условиями нахождения золота в рудных проявлениях, из которых в россыпь поступали весьма низкопробные золотины. Для них было характерно большое количество тонкодисперсного золота в сульфидах, перешедшего при их окислении в раствор.

Оболочки губчатого золота обычно располагаются поверх описанных высокопробных гипергенных оболочек. Они состоят как из однослойных наростов сросшихся друг с другом очень мелких глобул практически чистого самородного золота (см. рис. 4, г, табл. 3, зерно 129-13), так и из сросшихся друг с другом микроагрегатов глобул (см. рис. 4, д). Во втором случае оно может быть сложено не только весьма высокопробным, но и высокопробным золотом (см. табл. 3). На отдельных золотилах оболочки губчатого золота представляют собой многослойные срастания микроагрегатов глобул самородного золота с оксидами (гидроксидами) золота (см. рис. 4, е, табл. 3).

Длительное время образование «горчичного» золота, названного так за специфический жёлто-бурый цвет и землистый облик его выделений, связывали с разложением в зоне окисления теллуридов золота, серебра и висмута в золото-теллуридных рудах. Позднее оно было выявлено на золото-сурьмяных, золото-сульфидных и других типах месторождений [4, 7 и др.]. К нему стали относить не только агрегаты слипшихся микрочастиц самородного золота с окси-

дами и теллуратами металлов (иногда играющих роль цемента), но и гидроксиды золота [1]. По мнению И.Я.Некрасова [6], с которым следует согласиться, это – собирательное название, не отражающее состав, свойства и генезис данной разновидности золота.

Распространение выделений «горчичного» золота в россыпных месторождениях Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля носит дискретный характер. В россыпи руч. Плацдарм они встречены на всём протяжении россыпи, в остальных россыпях – на отдельных участках. Наибольшее количество золотин в сростках с «горчичным» золотом отмечается в россыпи руч. Берентал, особенно на верхнем и нижнем её участках, и в верхней части россыпи руч. 14-я Верста. Меньше всего их в россыпи руч. Забытый, что обусловлено, по-видимому, разнообразием минеральных типов коренных источников рассматриваемых россыпей в пределах различных речных долин и их участков. Во всех россыпных месторождениях отмечается однотипная закономерность частоты встречаемости сростков «горчичного» золота с разнопробными золотилами. Наибольшая доля золотин в сростках с «горчичным» золотом характерна для весьма низкопробной их генерации (табл. 5). Среди же золотин высокопробной генерации, наиболее тесно ассоциирующихся с висмут-теллуровой рудной минерализацией (см. табл. 1), отмечены лишь единичные сростки с «горчичным» золотом. Данный факт указывает на то, что в пределах Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля образование «горчичного» золота в большей степени связано с разложением не теллуридов (а также мальдонита и, возможно, аурустибита), а сульфидов золота и серебра.

По результатам исследований в россыпных месторождениях Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля выделены две разновидности «горчичного» золота: пористое и микропористое.

К пористому «горчичному» золоту отнесены выделения, пористое строение которых отчётливо наблюдается в сканирующем электронном микроскопе при увеличениях >500 раз. Оно представлено самостоятельными зёрнами, сростками с гипогенным самородным золотом и каймами на гипогенных золотилах. Самостоятельные выделения представлены единичными комковидно-уплощёнными и прожилково-пластинчатыми массивными зёрнами в основном <0,1 мм,

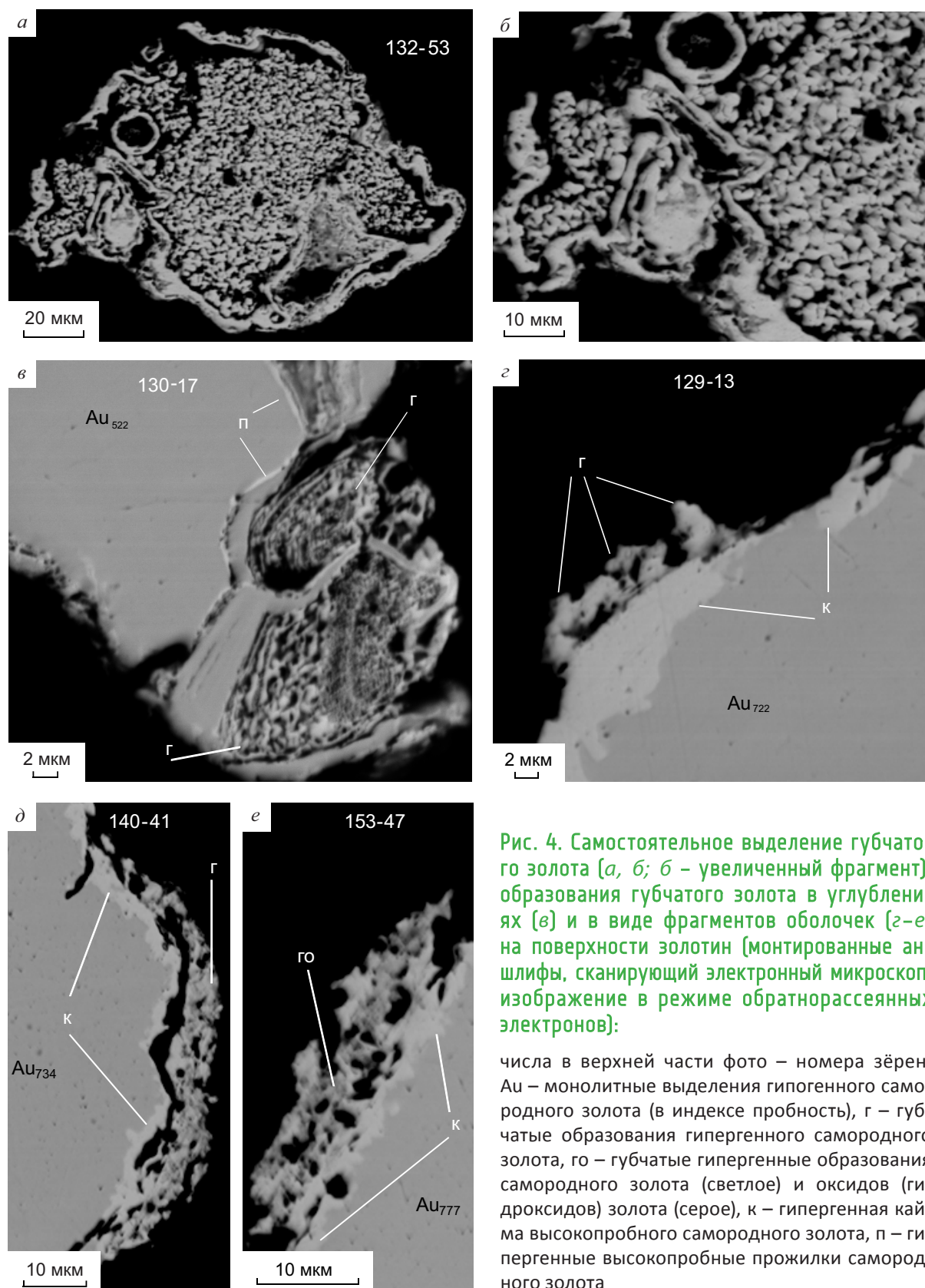


Рис. 4. Самостоятельное выделение губчатого золота (а, б; б – увеличенный фрагмент), образования губчатого золота в углублениях (в) и в виде фрагментов оболочек (г–е) на поверхности золотин (монтированные аншлифы, сканирующий электронный микроскоп, изображение в режиме обратнорассеянных электронов):

числа в верхней части фото – номера зёрен, Au – монолитные выделения гипогенного самородного золота (в индексе пробность), г – губчатые образования гипергенного самородного золота, го – губчатые гипергенные образования самородного золота (светлое) и оксидов (гидроксидов) золота (серое), к – гипергенная кайма высокопробного самородного золота, п – гипергенные высокопробные прожилки самородного золота

Аппаратурно-технические средства и технологии геологоразведочных работ

3. Состав выделений вторичного золота, мас. %

Формы выделения	Номера зёрен	Объекты (места) анализа	Au	Ag	Fe	O	Al	Si	K	Ca
<i>Губчатое золото</i>										
Самостоятельное зерно	132-53*	Оболочка зерна	98,4	1,6	–	–	–	–	–	–
		Агрегат глобул	100,0	–	–	–	–	–	–	–
		Полости между агрегатами глобул	98,6	–	–	1,4	–	–	–	–
Сросток с гипогенным золотом	130-17*	Агрегат глобул	55,2	3,7	11,5	22,1	3,7	3,1	0,5	0,2
			67,9	–	2,0	28,0	1,0	1,1	–	–
			80,0	2,4	5,9	11,3	0,5	–	–	–
Каймы на гипогенном золоте	129-13**	Агрегат глобул	85,4	1,8	2,9	9,9	–	–	–	–
			59,3	1,3	9,4	25,3	2,2	2,2	0,4	–
			100,0	–	–	–	–	–	–	–
			140-25**	Агрегат глобул	85,5	14,5	–	–	–	–
	140-41**	Агрегат глобул	94,4	5,6	–	–	–	–	–	
	153-47**	Агрегат глобул	82,5	10,8	–	6,2	0,5	–	–	
<i>«Горчичное» пористое золото</i>										
Самостоятельные зерна	132-31*	Пористый участок	100,0	–	–	–	–	–	–	–
	146-9**	Пористый участок	100,0	–	–	–	–	–	–	–
		Монолитный участок	100,0	–	–	–	–	–	–	–
146-49**	Пористый участок	88,0	10,3	1,7	–	–	–	–	–	
	Монолитный участок	89,8	10,2	–	–	–	–	–	–	
Каймы на гипогенном золоте	129-21*	Пористый участок	89,3	10,7	–	–	–	–	–	–
		Монолитный участок	94,7	5,3	–	–	–	–	–	–
	132-7**	Пористый участок	86,5	13,5	–	–	–	–	–	–
		Монолитный участок	96,2	3,8	–	–	–	–	–	–
		100,0	–	–	–	–	–	–	–	
	140-12*	Пористый участок	75,1	12,2	6,8	5,5	–	–	–	–
	150-11**	Пористый участок	85,0	15,0	–	–	–	–	–	–
		Монолитный участок	100,0	–	–	–	–	–	–	–
	153-32**	Пористый участок	73,4	4,6	7,4	14,6	–	–	–	–
		Монолитный участок	94,8	5,2	–	–	–	–	–	–
133-16**	Пористый участок	82,5	8,8	1,5	7,2	–	–	–	–	
	Микропористый участок	84,4	9,9	0,8	5,0	–	–	–	–	
	Монолитный участок	96,5	3,5	–	–	–	–	–	–	
Сростки с гипогенным золотом	132-21*	Пористый участок	75,7	20,8	–	3,5	–	–	–	–
		Микропористый участок	89,9	10,1	–	–	–	–	–	–
		96,2	3,8	–	–	–	–	–	–	
	133-17*	Пористый участок	73,5	18,2	3,9	4,3	–	–	–	–
	153-27*	Пористая зона	75,2	17,9	–	7,0	–	–	–	–
Микропористая зона		94,1	4,4	–	1,5	–	–	–	–	
<i>«Горчичное» микропористое золото</i>										
Самостоятельное зерно	146-12**	Микропористый участок	96,9	3,1	–	–	–	–	–	–
		Монолитный участок	97,6	2,4	–	–	–	–	–	–
		Включение	80,0	2,2	–	17,8	–	–	–	–
Сростки с гипогенным золотом	129-39*	Серо-жёлтая зона	81,8	14,0	–	4,2	–	–	–	–
		Буро-жёлтый участок	85,7	10,6	–	3,7	–	–	–	–
	130-65*	Буро-жёлтый участок	98,8	–	–	1,2	–	–	–	–
		Бурый участок	97,2	–	1,1	1,7	–	–	–	–
	140-53*	Серо-бурый участок	77,1	15,2	–	7,7	–	–	–	–
	Буро-красный участок	87,8	12,2	–	–	–	–	–	–	
<i>Агрегаты гидроксидов золота и железа</i>										
Сростки с гипогенным золотом	129-29*	Серо-бурое зерно	73,7	–	12,5	13,8	–	–	–	–
		Бурое зерно	64,2	–	14,6	21,3	–	–	–	–
	130-18*	Бурое зерно	62,9	3,5	14,0	18,4	0,6	0,6	–	–
	144-24**	Серо-бурое зерно	61,7	8,5	9,8	20,1	–	–	–	–
		Трещина	11,5	1,8	41,1	42,0	0,6	2,1	0,9	–
	144-34**	Серо-бурое выделение	74,5	8,5	4,0	13,0	–	–	–	–

Примечание. Содержания элементов пересчитаны на сумму 100%. Прочерк – элемент не обнаружен. Зёрна проанализированы на микроанализаторе Camebax, детектор X-Max-50 (*) и сканирующем электронном микроскопе EVO-50 (**).

4. Доля золотин в сростках с губчатым золотом, %

Россыпи	Число золотин, шт.	Группа самородного золота, %				Всего
		350–500	500–700	700–850	850–1000	
руч. Кункуй	121	75,0	13,3	1,7	7,1	9,1
руч. Плацдарм	126	6,2	3,3	3,0	–	3,2
руч. 14-я Верста	126	16,1	1,5	–	–	5,6
руч. Забытый	63	–	–	–	–	–
руч. Берентал	139	–	–	–	–	–
р. Мякит	104	–	2,5	–	–	1,0
Суммарное	679	11,0	2,7	1,5	4,4	3,4

Примечание. Прочерк – сростки не выявлены.

5. Доля золотин в сростках с «горчичным» золотом, %

Россыпи	Число золотин, шт.	Группа самородного золота, %				Всего
		350–500	500–700	700–850	850–1000	
руч. Кункуй	121	50,0	8,9	–	–	5,0
руч. Плацдарм	127	25,0	6,7	1,5	3,3	6,3
руч. 14-я Верста	126	16,1	1,5	–	–	4,8
руч. Забытый	63	33,3	–	–	–	1,6
руч. Берентал	139	36,0	13,8	12,5	–	17,3
р. Мякит	104	–	3,6	2,5	–	2,9
Суммарное	680	25,6	6,8	2,3	2,2	7,1

Примечание. Прочерк – сростки не выявлены.

реже класса 0,1–0,25 мм. Они имеют остроугольно-угловатые очертания и мелкочапчатую и шагреневую поверхность. Цвет их с поверхности тусклый тёмно-жёлтый или серо-жёлтый, на срезе – жёлто- или красно-бурый. При увеличениях от 500 до 3500 раз отчётливо прослеживается их относительно равномерное сотовое губчатое строение, обусловленное срастанием микрочастиц <1 мкм. Густота пор и их размеры в основной части зёрен колеблются незначительно (рис. 5). К поверхности зёрен количество пор постепенно уменьшается, пористое строение сменяется микропористым, а кое-где – монолитным (ультрамикропористым).

Микрочастицы в самостоятельных зёрнах пористого «горчичного» золота в одних случаях сложены практически чистым самородным золотом, в других – золотом пробностью 880–890%. При этом участки с микропористым и относительно монолитным строением имеют пробность, сходную с пробностью основной части зерна. В отдельных зёрнах по данным микронзондовых анализов можно предположить наличие в порах в небольшом количестве оксидов (гидроксидов) железа (см. табл. 3).

Фрагментарные оболочки на гипогенных золотилах (в срезах золотин – каймы), сложенные пористым «горчичным» золотом, более широко распространены, чем его самостоятельные зёрна. Мощность кайм «горчичного» золота на различных золотилах существенно различается (см. рис. 5). В отдельных случаях они воспринимаются как сростки «горчичного» золота с самородным гипогенным золотом (см. рис. 5, з, д). В смонтированных аншлифах под электронным микроскопом отчётливо наблюдается их пористое, нередко слоистое строение (см. рис. 5). Слагающие их микрочастицы чаще всего срощены в различной толщины цепочки (слойки), параллельные поверхности золотины, пространство между которыми разделено соединяющими слойки перегородками. Размер и форма образующихся ячеек, толщина их стенок в таком сотовом каркасе «горчичного» золота на разных золотилах сильно различаются. Иногда «горчичное» золото в каймах имеет бессистемный разноразмерный сотовый каркас. Как правило, к внешней части кайм густота и размеры пор постепенно уменьшаются. На отдельных участках на пористой кайме, в свою очередь, отмечается микропористая

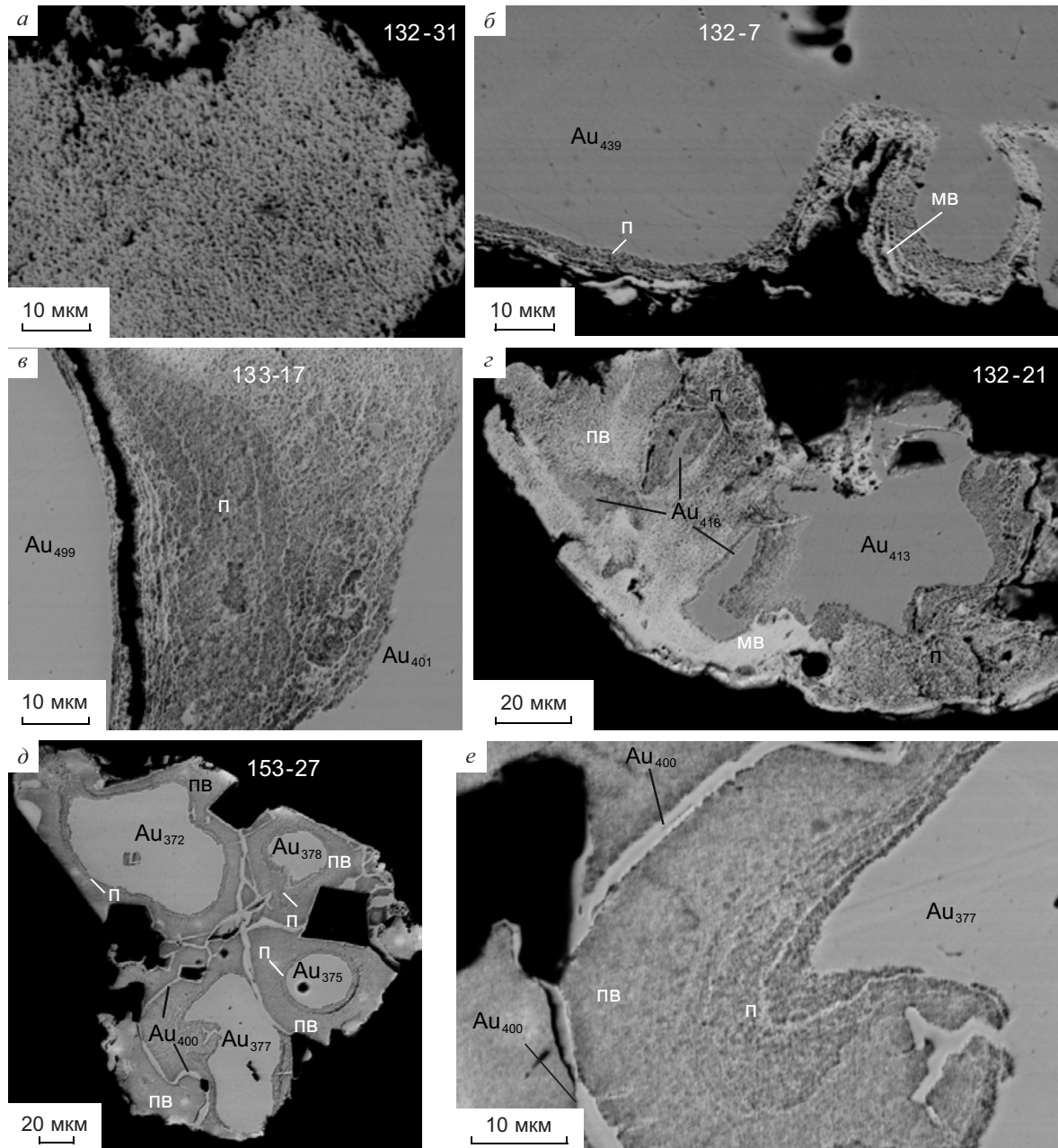


Рис. 5. Самостоятельное выделение пористого «горчичного» золота (а), образования оболочек пористого «горчичного» золота на поверхности золотин [б, в], сростки пористого «горчичного» золота с гипогенным самородным золотом [г-е; е – увеличенный фрагмент фото д] (монтированные аншлифы, сканирующий электронный микроскоп, изображение в режиме обратнорассеянных электронов):

числа в верхней части фото – номера зёрен, Au – монолитные выделения гипогенного самородного золота (в индексе пробаность), п – пористые высокопробные образования «горчичного» золота, пв – пористые и микропористые весьма высокопробные образования «горчичного» золота, мв – монолитные (ультрамикропористые) весьма высокопробные гипергенные образования самородного золота

кайма «горчичного» золота. В некоторых случаях её ширина превышает ширину пористой зоны. Границы между разнопористыми зонами бывают очень резкими, что придает каймам слоистое зональное строение. Иногда в пористом сотовом каркасе кайм «горчичного» золота фиксируются монолитные прожилки, а поверх кайм – фрагментарные монолитные плёнки весьма высокопробного самородного золота. В ряде зёрен на границе кайм с золотиной и между разнопористыми зонами присутствуют полости и трещины (см. рис. 5).

Пробность микрочастиц, слагающих каймы «горчичного» золота, варьирует от 800 до 900‰, наиболее часто составляет 850–870‰. Микропористые зоны, как правило, сложены более высокопробным золотом. Поровое пространство свободно или в разной степени и разных пропорциях заполнено оксидами (гидроксидами) золота и железа. Иногда они заполняют всё поровое пространство, иногда наличествуют на отдельных участках или в отдельных слоях, обуславливая ещё один вид слоистости в каймах «горчичного» золота.

Микропористое «горчичное» золото при оптических исследованиях в монтированных аншлифах воспринимается как монолитные выделения жёлто- и тёмно-бурого цвета. Только под электронным микроскопом при увеличениях ~3,5 тыс. раз слабо просматривается их микропористое строение (рис. 6, а).

В отличие от пористой разновидности микропористое «горчичное» золото встречается значительно реже. Выявлены одно самостоятельное зерно и около десятка сростков (в виде включений) с гипогенным самородным золотом. Самостоятельное выделение микропористого «горчичного» золота представлено массивным комковидным зерном <0,1 мм с остроугольно-угловатыми очертаниями и мелкоямчатой поверхностью. С поверхности оно жёлтого, а на срезе в монтированном аншлифе – тёмно-бурого цвета. Жёлтый цвет поверхности обусловлен наличием на зерне тонкой плёнки монолитного самородного золота. Микропоры распределены неравномерно. Наряду с микропористыми, в краевых частях среза зерна отмечаются относительно монолитные (ультрамикропористые) участки. Характерная особенность – наличие глубоких трещин (см. рис. 6). На микропористых и монолитных участках зерно сложено весьма

высокопробным самородным золотом (см. табл. 3). В качестве включения в нём обнаружен оксид (гидроксид) золота (см. табл. 3).

Основная масса сростков микропористого «горчичного» золота связана с весьма низкопробными золотинами. Нередко в таких сростках оно имеет зональное строение (рис. 7). Примыкающая к золотине зона серо-бурого, удалённая – красно-бурого цвета. Граница с золотиной обычно резкая. Количество серебра в «горчичном» золоте в сростках 10–15 мас. %. Как правило, в небольшом количестве присутствует кислород. Очевидно, он входит в состав оксидов (гидроксидов) золота. Серо-бурая зона характеризуется более высоким содержанием серебра и кислорода (см. рис. 7, точка 2). В некоторых зёрнах отмечены многочисленные трещины (см. рис. 6, в).

Строение микропористого «горчичного» золота в сростке с весьма высокопробной золотиной микрослоистое (см. рис. 6, б). На его границе установлен мальдонит, в результате разложения которого в подзоне окисления, видимо, и образовалось данное выделение «горчичного» золота.

Минеральные образования, основу химического состава которых определяют золото, железо и кислород, ранее описывались на поверхности частиц золота из кор выветривания Б.М.Осовецким [11]. Они были названы золото-железистыми агрегатами и, по его предположениям, представляют собой сростки листоватых выделений гидроксидов железа, в промежутках между которыми присутствуют агрегаты наночастиц самородного золота. Их происхождение Б.М.Осовецкий [11] считает аналогичным образованию «ржавого» золота [23] в результате окисления золотоносного пирита или арсенопирита [18, 19].

В россыпных месторождениях Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля подобные золото-железистые агрегаты найдены в углублениях на поверхности весьма низкопробных золотин. Они представлены землистыми образованиями тёмно-бурого цвета, разбитыми многочисленными трещинами сложной морфологии. В сканирующем электронном микроскопе отчётливо прослеживается их рыхлое пористое строение (см. рис. 6, г).

По химическому составу они как серебродержащие, так и бессеребряные золото-железо-кислородные образования (см. табл. 3). Трещины

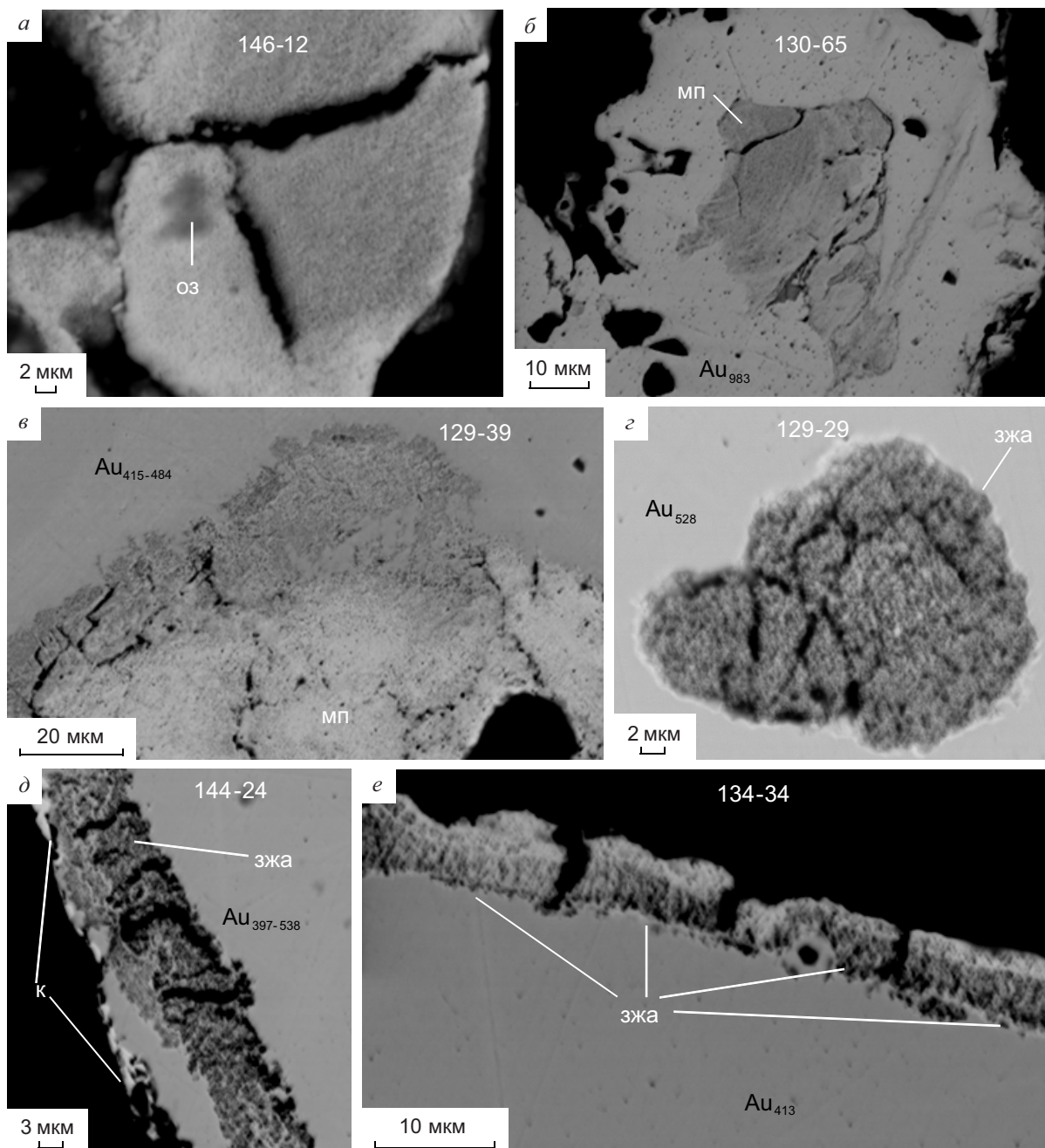
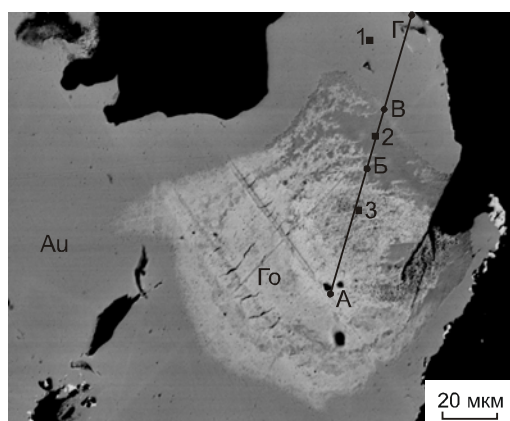


Рис. 6. Самостоятельное выделение микропористого «горчичного» золота (а), сростки микропористого «горчичного» золота (б, в) и агрегатов гидроксидов золота и железа (г-е) с гипогенным самородным золотом (монтированные аншлифы, сканирующий электронный микроскоп, изображение в режиме обратнорассеянных электронов):

числа в верхней части фото – номера зёрен, Au – монокристаллические выделения гипогенного самородного золота (в индексе проба), мп – микропористые образования «горчичного» золота, оз – оксид (гидроксид) золота, к – гипергенная высокопробная кайма, зжа – агрегаты гидроксидов золота и железа



Точка	Au	Ag	Al	O	Сумма
1	44,5	55,2	–	–	99,7
2	73,7	16,3	0,4	3,0	93,4
3	80,5	11,5	–	1,4	93,4

Примечание. Прочерк – элемент не обнаружен.

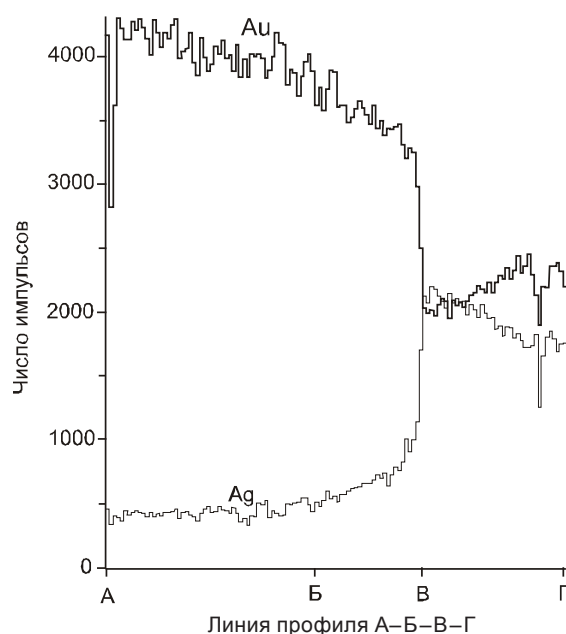


Рис. 7. Изменение содержания элементов по профилю А–Б–В–Г в сростке самородного (Au) и «горчичного» (Go) золота (золотина 140-53) (монтированный аншлиф, микроанализатор Camebax, детектор X-Max-50, сканирующий электронный микроскоп, изображение в режиме обратнорассеянных электронов):

цифрами обозначены номера точек анализов

в них выполнены гидроксидами железа с примесью глинистых частиц. Отвечают ли приведённые в табл. 3 анализы данных образований тонкодисперсным агрегатам гидроксидов железа и самородного золота, как полагает для подобных образований Б.М.Осовецкий [11], однозначно судить трудно. Тем более, что по атомным соотношениям содержащихся в них элементов можно констатировать: количество атомов кислорода по отношению к атомам железа явно превышает их соотношение в известных оксидных и оксигидроксидных минеральных соединениях железа. Это или какие-то ещё не описанные ранее соединения железа или, что более вероятно, часть кислорода связана с атомами золота, очевидно, в составе его гидроксидных соединений. Возможность наличия во вторичном золоте гидроксидных образований отмечалась при характеристике губчатого и «горчичного» золота. Поскольку гидроксиды золота по кристаллической структуре отличаются от полиморфных модификаций гидроксидов железа, образование смешанных золото-железных гидроксидных соединений маловероятно. Отсутствие смесимости в ряду $AuO(OH)-FeO(OH)$ показана

но экспериментально [10]. Поэтому можно предположить, что рассматриваемые образования являются тонкой смесью в тех или иных пропорциях гидроксидов золота и гидроксидов железа с возможным присутствием в ней микрочастиц самородного золота.

Установленные случаи нарастания оболочек губчатого золота на гипергенные высокопробные каймы позволяют представить общую модель поведения выделений гипогенного самородного золота и других минеральных образований этого элемента в зоне окисления, развивавшейся в эпоху планации рельефа на рудных проявлениях Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля. В подзонах полного окисления и выщелачивания, выщелачивания и окисления (названия подзон по работе [8]) под действием агрессивных химических растворов на относительно крупных (видимых) выделениях самородного золота после их высвобождения из силикатной и рудной матриц происходило сглаживание острых выступов и формировалась высокопробная оболочка. Золото нано- и тонкодисперсной размерности в рудных минералах в ходе их разрушения переходило в раствор. При поступлении видимых

выделений самородного золота в результате их миграции в подзону вторичного золотого обогащения на покрывающую их высокопробную оболочку осаждалось в виде фрагментарной оболочке вторичное губчатое золото. Имело место и образование самостоятельных зёрен гипергенного губчатого золота.

Не вдаваясь в сложные вопросы о механизме растворения, переноса и осаждения золота в зоне окисления, рассмотренные во многих работах, отметим, что перенос золота в растворах, по всей вероятности, происходил в составе хлоридных комплексов. Определяющими факторами для его осаждения, очевидно, являлись повышенная щёлочность, способствующая гидролизу хлоридных комплексов золота [10], и процесс ферролиза [21, 22].

Образование «горчичного» золота, вероятнее всего, осуществлялось за счёт разложения главным образом золото-серебряных сульфидов, а также мальдонита, возможно, аурустибита (выявлена самородная сурьма) и весьма низкопробного самородного золота на месте их разрушения в подзонах окисления и выщелачивания. При этом его пористое сложение, очевидно, обусловлено не только перераспределением вакансий, возникших в результате выщелачивания атомов Ag, Bi, Sb и S из кристаллической решётки исходного минерала. Вероятно, первой стадией на пути превращения золото-серебряных сульфидов, мальдонита и аурустибита в «горчичное» золото был их распад на субграфические и микро-субграфические сращения самородного золота с сульфидом серебра, самородными висмутом и сурьмой (очевидно, в результате проявления метаморфических процессов, связанных со становлением Берентальской гранитной интрузии). Особенности строения высокосеребристого золота [16] указывают на то, что распаду могло подвергаться и весьма низкопробное самородное золото. Вторая стадия включала выщелачивание из образовавшихся агрегатов микрочастиц сульфидов серебра, самородных висмута, сурьмы и серебра с постепенным перераспределением возникающих пустот, заполнением их гидроксидами золота и железа, частичной перекристаллизацией в краевых частях в микропористые и ультрамикропористые (монокристаллические) зоны (участки). В дальнейшем при поступлении таких образований в подзону золотого обогащения на них могли отлагаться губчатые выделения и мо-

нолитные (ультрамикропористые) плёнки вторичного самородного золота. Наличие среди микропористого «горчичного» золота выделений с трещинами «усыхания» позволяет предполагать отложение части «горчичного» золота непосредственно из коллоидных растворов.

Многочисленные проявления гипергенных новообразований золота в россыпных месторождениях Нижне-Мякитского рудно-россыпного поля, наряду с преобладанием в тяжёлой фракции гидроксидов железа, наличием самородной меди и серебра, свидетельствуют о существенной роли процессов химического выветривания в их формировании.

В длительно и прогрессивно развивающихся зонах окисления эпохи планации рельефа происходило не только высвобождение основной массы самородного золота, участвующего в россыпеобразовании, но и активное возникновение новообразований золота. Во-первых, оно выразилось в формировании на высвободившихся из силикатной и рудной матриц видимых гипогенных золотилах высокопробных гипергенных оболочек. Во-вторых, произошло разложение сульфидных и интерметаллических соединений золота и, возможно, части весьма низкопробного металла с образованием выделений «горчичного» золота. В-третьих, тонкодисперсные и более мелкие выделения самородного золота в рудных минералах перешли в растворы с последующим выпадением из них золота в виде губчатых весьма высокопробных зёрен, а также оболочек на гипогенных золотилах и гидроксидных соединений.

Широкое развитие гипергенных новообразований золота в исследованных россыпях связано с повышенной сульфидностью и большим количеством тонкодисперсных выделений золота в коренных источниках, распространённостью в них сульфидных и интерметаллических соединений золота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Самородное золото Якутии* (Верхне-Индибирский район) / В.А.Амузинский, Г.С.Анисимова, Ю.Я.Жданов. – Новосибирск: ВО «Наука», Сибирская издательская фирма, 1992.
2. *Атлас самородного золота из россыпей Узбекистана* / Гл. ред. Н.Г.Мавлянов. – Ташкент: ИЦ «Янги аср авлоди», 2007.

3. *Атлас самородного золота рудных и россыпных месторождений России / Л.А.Николаева, А.М.Гаврилов, А.Н.Некрасова и др. – М.: ЦНИГРИ, 2003.*
4. *Гамянин Г.Н., Жданов Ю.Я., Некрасов И.Я., Леснова Н.В. «Горчичное» золото из золото-сурьмяных руд Восточной Якутии // Новые данные о минералах. 1987. № 34. С. 13–20.*
5. *Мурзин В.В., Малюгин А.А. Типоморфизм золота зоны гипергенеза (на примере Урала). – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987.*
6. *Некрасов И.Я. Геохимия, минералогия и генезис золоторудных месторождений. – М.: Наука, 1991.*
7. *Нестеренко Г.В. Прогноз золотого оруденения по россыпям (на примере районов юга Сибири). – Новосибирск: Наука, 1991.*
8. *Нестеров Н.В. Гипергенное обогащение золоторудных месторождений Северо-Востока Азии. – Новосибирск: Наука, 1985.*
9. *Николаева Л.А. Генетические особенности самородного золота как критерии при поисках и оценке руд и россыпей. – М.: Недра, 1978.*
10. *Новгородова М.И., Генералов М.Е., Трубкин Н.В. Новое золото в корах выветривания Южного Урала (Россия) // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37. № 1. С. 40–53.*
11. *Осовецкий Б.М. Наноскульптура поверхности золота. – Пермь: Перм. гос. нац. иссл. ун-т, 2012.*
12. *Петровская Н.В. Самородное золото. – М.: Наука, 1973.*
13. *Савва Н.Е., Пальянова Г.А. Генезис сульфидов золота и серебра на месторождении Улахан (Северо-Восток России) // Геология и геофизика. 2007. Т. 48. № 10. С. 1028–1042.*
14. *Савва Н.Е., Пальянова Г.А., Колова Е.Е. Минералы золота и серебра в зоне вторичного сульфидного обогащения (рудопоявление Крутое, Северо-Восток России) // Вестн. СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 1. С. 33–45.*
15. *Савва Н.Е., Преис В.К. Атлас самородного золота Северо-Востока СССР. – М.: Наука, 1990.*
16. *Сахарова М.С., Горшков А.И., Ряховская С.К., Трубкин Н.В. Новые данные об изоморфной смесимости золота и серебра в самородном золоте и его синтетических аналогах // ДАН СССР. 1982. Т. 264. № 2. С. 457–460.*
17. *Яблокова С.В. Определение относительного времени поступления золота в россыпь (на примере Яно-Колымского пояса и Чукотки) // Древние и погребенные россыпи СССР. 1977. Ч. 2. С. 118–120.*
18. *Bowell R.J. Gold from Botallack mine, St. Just, Cornwall // Miner. Mag. 1992. Vol. 56. № 1. P. 123–124.*
19. *Bowell R.J. Supergene gold mineralogy at Ashanti Ghana: implications for the supergene behaviour of gold // Miner. Mag. 1992. Vol. 56. № 4. P. 545–560.*
20. *Groen J.C., Graig J.R., Rinstidt J.D. Gold-rich rim formation on electrum grains in placers // Can. Mineral. 1990. Vol. 28. P. 207–228.*
21. *Mann A.W. Hydrogeochemistry and Weathering on the Yilgarn Block, Western Australia: Ferrollysis and Heavy Metals in Continental Brines // Geochim. Cosmochim. Acta. 1983. Vol. 47. P. 181–190.*
22. *Mann A.W. Mobility of Gold and Silver in Lateritic Weathering Profiles: Some Observations from Western Australia // Econ. Geol. 1984. Vol. 79. № 1. P. 38–49.*
23. *Wilson A.F. Origin of quartz-free gold nuggets and supergene gold found in laterites and soils – a review and some new observations // Australian Journal of Earth Sciences. 1984. Vol. 31. P. 303–316.*

Литвиненко Иван Степанович,
кандидат геолого-минералогических наук
litvinenko@neisri.ru

Шилина Любовь Анатольевна,
младший научный сотрудник
Soloment@neisri.ru

HYPERGENE GOLD NEOMINERALIZATION IN PLACER DEPOSITS OF NIZHNE-MYAKITSKY ORE-PLACER FIELD, NORTH-EAST RUSSIA

I.S.Litvinenko,
L.A.Shilina

Hypergene gold neomineralization consists of high-fineness rims and veinlets occurring in hypogene gold, and different varieties of secondary gold. Secondary gold exists as sponge and mustard forms. Sponge gold consists of aggregated globules of native high-fineness gold (1–3 μm). Mustard gold has a honeycomb frame of native gold microparticle ingrowths, 800–900% fineness, and it usually changes into a continuous shell of a higher fineness. Pore spaces in sponge and mustard gold are often filled with different quantities of gold and iron oxides (hydroxides). Small amounts of dispersed aggregates of gold and iron hydroxides are present.

Key words: North-East Russia, placers, hypergenesis zone, secondary gold.