



УДК 549.2

Е. И. Сандимирова<sup>1</sup>, Е. Г. Сидоров<sup>1</sup>, В. М. Чубаров<sup>1</sup>,  
Э. К. Ибрагимова<sup>2</sup>, А. В. Антонов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН,  
г. Петропавловск-Камчатский, e-mail: sand@kscnet.ru*

<sup>2</sup> *ФГУП «ВСЕГЕИ», Санкт-Петербург, 199 106*

## Самородные металлы и интерметаллиды в шлиховых ореолах р. Ольховая 1-я (Камчатский мыс, Восточная Камчатка)

Самородные металлы и интерметаллиды разнообразного состава установлены в шлиховых ореолах и россыпи золота реки Ольховая 1-я (п-ов Камчатский Мыс, Восточная Камчатка). Самородные металлы представлены Pb, Sn, Bi и Cu, а интерметаллиды — минеральными фазами переменного состава (Au,Pb), (Au,Ag,Pb,Sb), (Pb,Sb), (Pb,Sn) и (Au,Ag,Pb,Sn). Взаимоотношение (срастания, включения) самородных металлов и интерметаллидов с породообразующими минералами и золотом свидетельствуют о том, что они имеют природное происхождение и генетически связаны с гидротермально-метасоматическими образованиями базит-гипербазитового массива Камчатского Мыса.

### Введение

Самородные металлы Pb, Sn, Bi, Cu и редкие природные соединения состава (Au,Pb), (Au,Ag,Pb,Sb), (Pb,Sb), (Pb,Sn) и (Au,Ag,Pb,Sn) были установлены в различных коренных и россыпных месторождениях платины и золота, в том числе связанных с базит-гипербазитовыми массивами [1–3, 7, 10–12]. На Камчатке базит-гипербазитовые массивы распространены достаточно широко, здесь массивы дунит-гарцбургитовой формации группируются в четыре протяжённых пояса: Северо-Западный; Хатырский; Восточно-Камчатский и Восточных полуостровов [9]. К одному из таких массивов, который расположен в пределах центральной части полуострова Камчатский Мыс (пояс Восточных полуостровов), приурочены шлиховые ореолы и россыпь золота р. Ольховая 1-я. Изучение шлиховых проб из этих ореолов показало, что помимо золота и минералов платиновой группы, в них также встречаются самородные металлы и интерметаллиды выше упомянутого состава. К настоящему времени минералы платиновой группы этих россыпных проявлений достаточно хорошо изучены [9, 16], но не меньший интерес представляют собой минералогические особенности золота и парагенетически связанные с ним самородные металлы и интерметаллиды. Наибольший интерес вызывают природные соединения (Au,Pb), (Au,Ag,Pb,Sb), (Pb,Sb), (Pb,Sn) и (Au,Ag,Pb,Sn), которые в целом являются мало изученными, генезис их до конца не определён, особенно в россыпных проявлениях. В Камчатском регионе эти соединения описываются впервые.

### Методы исследования

Морфология, внутреннее строение и вещественный состав зёрен изучались с помощью микроскопа Camebax № 244, укомплектованного энерго-дис-

персионным спектрометром (ЭДС) X-МАХ (ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, оператор В. М. Чубаров) и сканирующего электронного микроскопа CamScan MX2500, оборудованного энерго-дисперсионным спектрометром Link Pentafet (ФГУП «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург, оператор А. В. Антонов).

### Результаты исследования

Изученные частицы самородных металлов и интерметаллидов имеют разнообразную форму и размер около 1–3 мм. Они встречаются в виде пластинок, «трубочек», изометричных зёрен, а также в форме почти идеальных шариков. Следует отметить, что сферические формы весьма характерны для золото-свинцовых интерметаллидов [1]. В шлихе частицы легко узнаются по тусклому или сильному металлическому блеску, свинцово-серому или серебристо-серому цвету, ковкости. На поверхности зёрен наблюдаются налеты или корочки гипергенных минералов приглушённых оранжево-красных, серовато-белых, светлых зеленоватых и тёмно-коричневых цветов. Металлы и интерметаллиды образуют тесные срастания с самородным золотом, галениитом, опалом, чешуйками графита и породообразующими минералами (плаггиоклазы An<sub>27–59</sub>, Ст-шпинель, ильменит, амфиболы типа магнезиальной роговой обманки и актинолита). Некоторые кристаллы породообразующих и жильных минералов находятся внутри зёрен интерметаллидов, другие как бы «впечатаны» в их поверхность или прирастают к ним частью своей поверхности (рис. 1–3). В полированных шлифах металлы и интерметаллиды быстро окисляются и темнеют.

В процессе изучения химического состава частиц было установлено, что они состоят из самородных металлов, их оксидов и разнообраз-

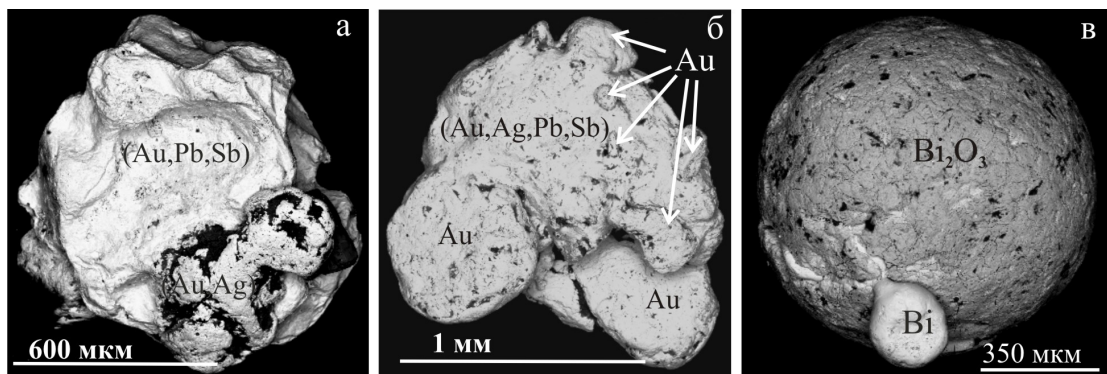


Рис. 1. а, б – сростания золота с интерметаллидами (Au,Ag,Pb,Sb). в – шарик, сложенный висмутом и бисмитом. Фото в отражённых электронах.

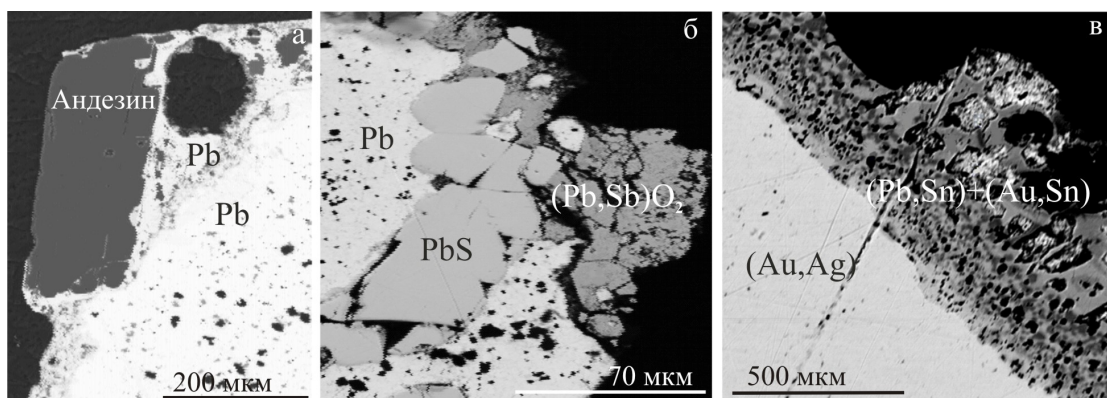


Рис. 2. а – фрагмент зерна сферической формы: свинец обрастает кристалл андезина и развивается в нём по микротрещинам; б – сростание свинца с галенитом и вторичным минералом (Pb,Sb)O<sub>2</sub>; в – сростание самородного золота (Ag 16,2 мас. %) с фазами (Pb,Sn) + (Au,Sn). Фото в отражённых электронах.

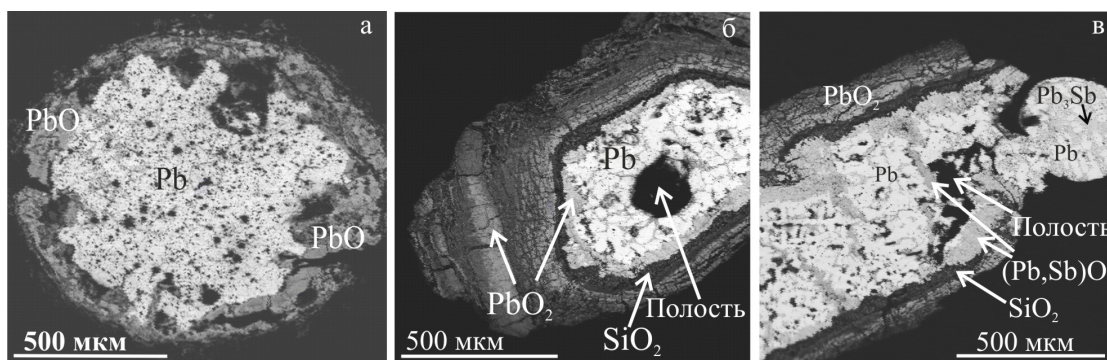
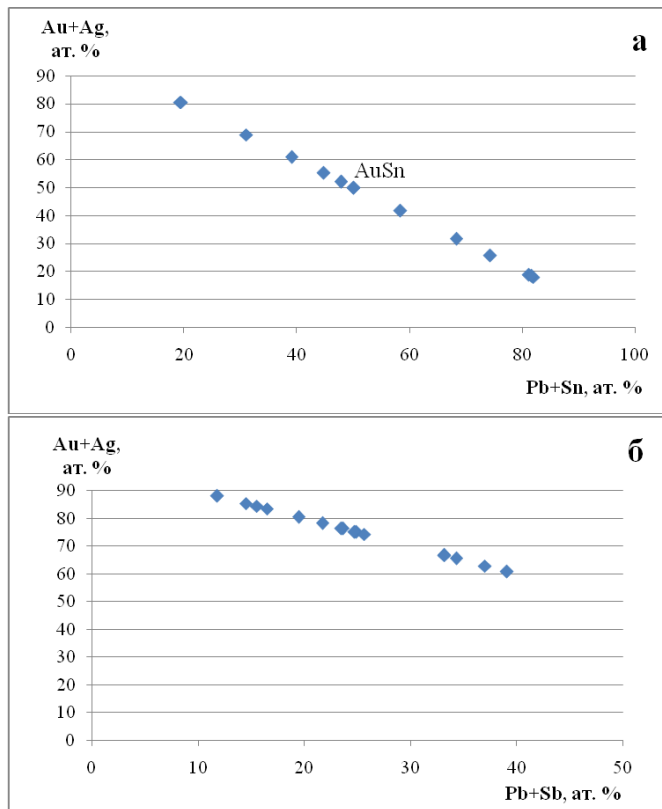


Рис. 3. а – шарик свинца с корочкой глёта (PbO); б, в – зональное строение зёрен в виде «трубочек», на конце одной из них расположен шарик (в). а – поперечный срез; в – другое зерно, продольный срез. Фото в отражённых электронах.

ных фаз переменного состава. Самородные металлы представлены Cu, Pb, Sn и Bi, среди которых наиболее широко распространена самородная медь, которая, в отличие от других, образует самородки размером до десяти-пятнадцати сантиметров (тема отдельного сообщения). Из оксидов встречаются бисмит (Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>); глёт, массивот (PbO); скрутинит, платнерит? (PbO<sub>2</sub>); минеральная фаза (Pb,Sb,O), которая по расчетам близка к соединению (Pb,Sb)O<sub>2</sub>. Соединения (Au,Pb)

и (Au,Ag,Pb,Sb) представлены фазами, которые близки к анюйту (AuPb<sub>2</sub>-Au(Pb,Sb)<sub>2</sub>) [8], хунчуниту (Au<sub>2</sub>Pb) [6, 14-15] и новоднеприту (AuPb<sub>3</sub>) [1, 13]: AuPb<sub>2</sub> и AuPb<sub>3</sub>; Au(Pb,Sb)<sub>2</sub>, Au<sub>2</sub>(Pb,Sb)<sub>3</sub>, (Au,±Ag)(Pb,Sb)<sub>4</sub> и (Au,±Ag)(Pb,Sb)<sub>5</sub>. Фазы (Pb,Sb) представлены соединениями Pb<sub>3</sub>Sb – PbSb<sub>3</sub>. Фазы (Au,Ag,Pb,Sn) по расчетам близки к юанджиангиту (AuSn) [4-5]: (Au,±Ag)(Sn,±Pb)-(Au,±Ag)(Sn,±Pb)<sub>4</sub>. Фазы (Pb,Sn) рассчитываются на Pb<sub>3</sub>Sn и PbSn. Вероятно, минеральные фазы образуют серии непре-



**Рис. 4.** а – соотношение (Au + Ag) и (Pb + Sn) в интерметаллидах (Au,Ag,Pb,Sn) россыпи р. Ольховая 1-я. AuSn – фазы, соответствующие юаньджиангиту. б – соотношение (Au + Ag) и (Pb + Sb) в интерметаллидах (Au,Ag,Pb,Sb) россыпи р. Ольховая 1-я.

рывных изоморфных рядов, как, например, фазы (Au,Ag,Pb,Sn) и (Au,Ag,Pb,Sb) (рис. 4). Характерные составы минеральных фаз представлены в табл. 1, 2.

Соединения (Au,Pb), (Au,Ag,Pb,Sb), (Pb,Sb), (Pb,Sn) и (Au,Ag,Pb,Sn) предварительно можно разделить на две группы (табл. 3). Первая группа – это соединения (Au,Pb,Sb,O). Они слагают, как простые по строению зёрна, так и более сложные – многофазные. Простые по строению зёрна полностью сложены свинцом, имеют пористую губчатую внутреннюю структуру, по краям обрастают каймой из оксидов свинца (рис. 3а). Для многофазных образований характерно каркасное строение (рис. 5, 6). Каркас состоит из фаз (Pb,Sb), (Au,Pb,Sb) и (Au,Ag,Pb,Sb), а свободное пространство в каркасе заполнено Pb. Скелет каркаса местами повторяет форму кубических кристаллов (рис. 6). Срастания фаз образуют скелетные, ячеистые или их ещё называют леопардовыми [8] структуры распада (рис. 3в, 5, 7). По краям зёрна обрастают оксидами (Pb,Sb,O). В тесном срастании с соединениями (Au,Pb,Sb,O) встречаются самородное золото (Ag 23,1 мас. %) и электрум (Ag 38,4–43,2 мас. %), а также галенит и опал. Границы между минералами, интерметаллидами и золотом чёткие. Внутри зёрен интерметаллидов иногда присутствуют включения Ст-шпинели;

**Таблица 3.** Ассоциации минералов и минеральных фаз, которые встречаются в одном зерне.

№ зерна	Ассоциации
1	Pb + PbO + PbO <sub>2</sub>
2	Pb + (Pb,Sb) ± Cu <sub>2</sub> Sb (купростибит)
3	Pb + (Pb,Sb) + PbS (галенит) + (Pb,Sb,O)
4	Pb + (Au,Pb,Sb)
5	(Au,±Ag) + (Au,±Ag,Pb,Sb)
6	Pb + Sn + (Pb,Sn)
7	(Au,Ag) + (Au,Pb) + Pb + PbO
8	(Au,Ag) + (Au,Ag,Sn) + (Au, Sn) + (Pb,Sn) + Pb
9	(Au,Ag) + (Au,Ag,Sn) + (Au, Sn) + (Pb,±Bi)
10	(Au,Ag) + (Au,Ag,Pb,Sn)
11	Bi + Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>

плагиоклазов (лабрадор, андезин, олигоклаз); кварц; агрегаты актинолита и магнезиальной роговой обманки, среди которых встречаются кристаллы графита. Кроме того, в свинцово-сурьмяных зёрнах встречаются мелкие (<10 мкм) включения кварца, купростибита Cu<sub>2</sub>Sb и других редких минералов, для точного определения, которых требуются дополнительные исследования. Купростибит установлен в зерне сферической формы состава Pb + (Pb, Sb), в виде угловатых кристалликов он располагается между зёрен Pb, в фазе (Pb,Sb).

Вторая группа минеральных ассоциаций представлена соединениями (Au,Ag,Pb,Bi,Sn). Они встречаются как в виде самостоятельных зёрен, так и в виде наростов на золотилах, состоящих из самородного золота (Ag 14,3–16,5 мас. %). Для минеральных образований такого состава характерны многофазные срастания, которые в срезе имеют пятнистые структуры (рис. 2в, 8).

Самородный висмут встречается редко в форме шариков, иногда присутствует в качестве примеси в свинце (до 3,4 мас. %). Шарики в центре сложены практически чистым висмутом, а на поверхности они имеют кайму из бисмита (рис. 1в). В висмуте иногда отмечается примесь Se (до 9 мас. %) и Te (до 3,2 мас. %). В бисмите присутствуют примеси (мас. %): Fe (до 4,3); V (до 4,4); Ti (0,4); Si (0,7); Al (до 0,6). Некоторые примеси, вероятно, обусловлены механическими микровключениями.

Как отмечалось выше, интерметаллиды образуют тесные срастания с золотом, которое представлено двумя различными типами золотиин. Первый тип объединяет золотины, которые сложены минералами группы медистого золота: самородное золото (Ag 20–30 мас. %), электрум (Ag 30–70 мас. %), кюстелит (Ag 70–80 мас. %), аурикуприд AuCu<sub>3</sub> и купроаурид AuCu. Они представляют собой бинарный сплав состава Au-Ag и Au-Cu. Для таких золотиин характерно зональное строение: центральные части сложены фазами Au-Ag, а краевые – фазами Au-

**Таблица 1.** Химический состав фаз (Au,Ag,Pb,Sn) в зёрнах из россыпи р. Ольховая 1-я.

Зерно	Мас. %					Ат. %				
	Au	Ag	Pb	Sn	Сумма	Au	Ag	Pb	Sn	Сумма
1	23,82	—	76,18	—	100,00	24,75	—	75,25	—	100,00
	33,20	—	66,81	—	100,01	34,33	—	65,67	—	100,00
2	59,90	—	1,56	38,50	99,96	47,82	—	1,18	51,00	100,00
	21,90	52,10	1,18	23,66	98,84	13,91	60,43	0,71	24,94	99,99
	55,30	30,10	—	14,61	100,01	41,12	40,86	—	18,02	100,00
	59,40	7,81	2,66	30,14	100,01	47,07	11,30	2,00	39,63	100,00
3	35,81	10,57	4,56	49,10	100,04	25,41	13,69	3,08	57,82	100,00
	47,07	25,34	—	26,09	98,50	33,86	34,45	—	31,69	100,00
	42,50	—	—	56,83	99,33	31,07	—	—	68,93	100,00
	28,41	—	2,64	69,19	100,24	19,49	—	1,72	78,78	99,99
	-	—	85,23	14,76	99,99	—	—	76,79	23,21	100,00
4	—	—	67,25	30,63	97,88	—	—	55,71	44,29	100,00

Примечание. Анализы выполнены с помощью ЭДС X-MAX (ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, оператор В. М. Чубаров) и ЭДС Link Pentafet (ФГУП «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург, оператор А. В. Антонов).

**Таблица 2.** Химический состав фаз (Au,Pb,Sb,O) в зёрнах из россыпи р. Ольховая 1-я.

Зерно	Мас. %					Ат. %				
	Au	Pb	Sb	O	Сумма	Au	Pb	Sb	O	Сумма
1	—	83,46	16,41	—	99,87	—	74,93	25,07	—	100,00
2	—	56,38	44,55	—	100,93	—	42,65	57,35	—	100,00
3	—	46,75	53,24	—	99,99	—	34,04	65,96	—	100,00
4	—	63,73	20,62	13,31	100,66	—	20,56	11,32	68,13	100,00
5	—	91,38	—	8,63	100,01	—	44,98	—	55,02	100,00
6	41,88	18,18	41,51	—	101,57	33,16	13,68	53,16	—	100,00
	41,16	46,67	12,16	—	99,99	39,13	42,17	18,70	—	100,00

Примечание. Анализы выполнены с помощью ЭДС X-MAX (ИВиС ДВО РАН, г. Петропавловск-Камчатский, оператор В. М. Чубаров) и ЭДС Link Pentafet (ФГУП «ВСЕГЕИ», г. Санкт-Петербург, оператор А. В. Антонов).

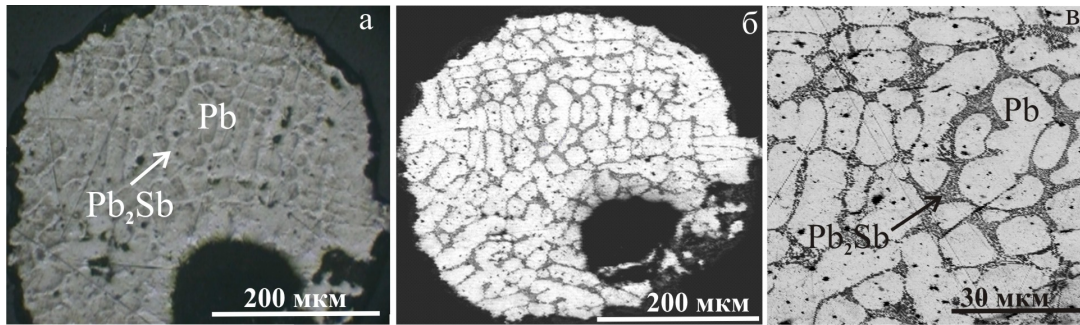
Су. В сростании с медистым золотом установлены следующие силикатные минералы: плагиоклазы — андезин, олигоклаз; амфиболы типа актинолита; хлориты из группы пеннинно-клинохлоровых; серпентин; пироксены диопсид-геденбергитового ряда; кварц; гранаты гроссуляр-андрадитового ряда, фторапатит.

Второй тип представлен золотинами, которые сложены самородным золотом с примесью серебра (10–30 мас. %). Для них характерно однородное внутреннее строение. В сростании с таким золотом установлены следующие силикатные минералы: плагиоклазы  $An_{10-100}$ ; ортоклаз; амфиболы типа магнезиальной роговой обманки и актинолита; хлориты из группы пеннинно-клинохлоровых; серпентин; оливин ( $Fo_{84-92}$ ); пироксены — диопсид, геденбергит, авгит, эгирин; эпидот; пренит; кварц; магнетит; сфен. Чаще всего золотины этого типа

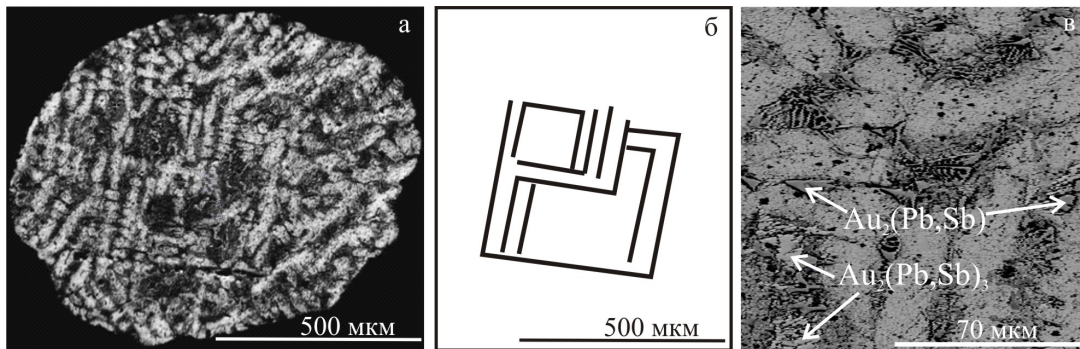
находятся в сростании с альбитом — от небольших включений альбита в золоте до альбитовых агрегатов с прожилками и тонкой вкрапленностью в них золота. Золото имеет рудный облик.

### Заключение

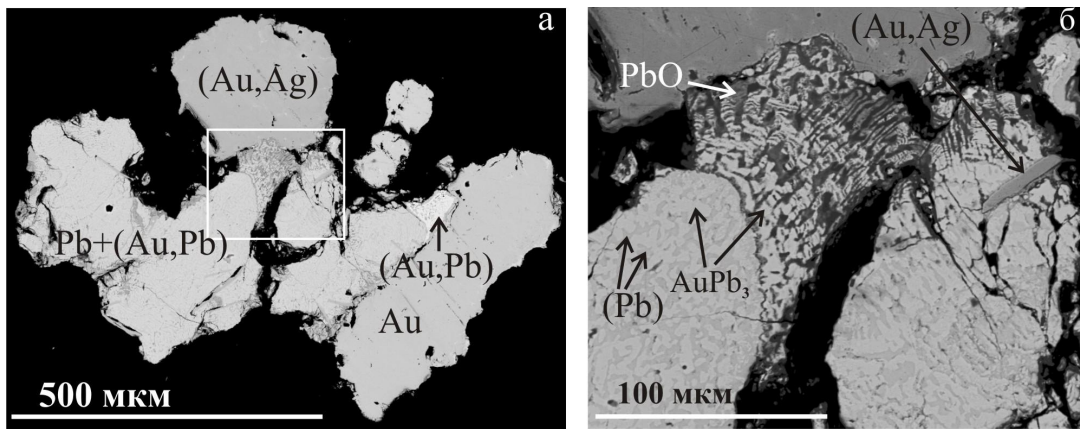
Судя по взаимоотношению (включения, сростки) самородных металлов и интерметаллидов с порообразующими и жильными минералами можно предположить, что источником медистого золота являются родингитизированные ультрабазиты, содержащие гранаты, а золота с примесью серебра — альбитовые жилы. Интерметаллиды первой группы (антимониды) тяготеют к медистому золоту, а интерметаллиды второй группы (станиды) — к золоту с примесью серебра. Вероятно, самородные металлы и интерметаллиды, как и золото, формировались в разных типах метасоматически изменённых



**Рис. 5.** Шарик с ячеистой структурой распада, образованной овальными зёрнами свинца и расположенной между ними фазой  $Pb_2Sb$ . а — фото в отражённом свете; б, в — фото в отражённых электронах.



**Рис. 6.** Шарик (а) и его фрагмент (в) со скелетной структурой, образованной  $Pb$  (белое) и скелетными фазами  $Au_2(Pb, Sb)_3$  и  $Au_2(Pb, Sb)$  (серое и тёмно-серое). Внутри зерна (а, б) просматривается каркас кристалла кубической формы. Фото в отражённых электронах.

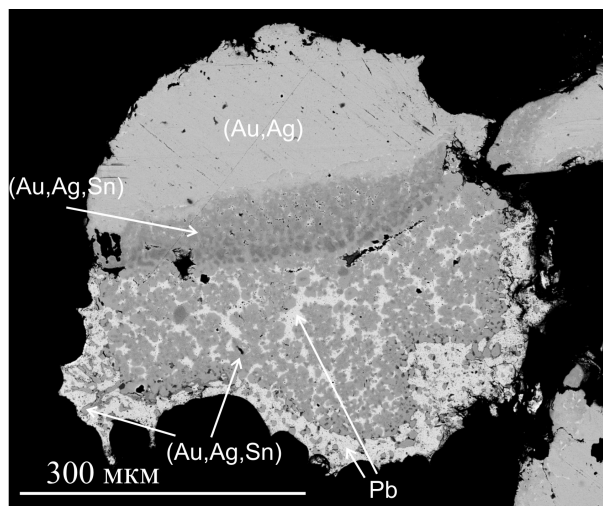


**Рис. 7.** а — сросток самородного золота (Ag 23,1 мас. %), электрума (Ag 38,4 мас. %) и интерметаллида  $Pb + (Au, Pb)$ . б — увеличенный фрагмент зерна: срастание электрума (Ag 36,0–38,4 мас. %) и интерметаллида со структурой распада  $Pb + AuPb_3$  (белое с серым), тёмно-серое в центре —  $PbO$ . Фото в отражённых электронах.

ультраосновных пород и образовались на разных стадиях рудоотложения. Характер срастания интерметаллидов с золотом позволяет говорить о том, что по отношению к золоту с примесью серебра станиды являются более поздними образованиями, а антимониды по отношению к электруму (группа минералов медистого золота) являются более ранними образованиями.

В хорошо изученном месторождении Золотая Гора [10] антимониды некоторых металлов, а также свинец относят к поздней рудной ассоциации

минералов, предшествующей наиболее поздней продуктивной рудной ассоциации, включающей золото и минералы группы медистого золота, амальгамы золота-серебра и серебра, которые формируются в лиственитизированных родингитах и серпентинитах. По данным авторов [10] ассоциация подобных соединений образуется в условиях крайне низкой фугитивности серы. Не исключено, что месторождение Золотая Гора является прототипом коренных источников золота р. Ольховая 1-я, местонахождение которых на данное время не известно. Таким



**Рис. 8.** Срастание золота (Ag 16,5 мас. %) с фазами переменного состава (Au, Ag, Sn) и Pb. Фото в отражённых электронах.

образом, образование изученных самородных металлов и интерметаллидов, вероятнее всего, связано с гидротермальными преобразованиями базит-гипербазитовых пород массива Камчатского Мыса.

#### Список литературы

1. Вознесенский С. Д., Золотова Н. Г. Современное минералообразование в золотой россыпи // ЗВМО. 1986. Ч. 115. №3. С. 301–310.
2. Дамдинов Б. Б., Миронов А. Г. Нетрадиционные типы благороднометаллической минерализации в офиолитах Восточного Саяна и Джидинской зоны // Тез. докл. Всерос. сов., посвящ. 100-летию со дня рождения академика Кузнецова Ю. А. Новосибирск. 2003. С. 095–097.
3. Евстигнеева Т. Л., Трубкин Н. В., Рамдор Р. Au-Ag-Pb-Sn-Sb фазы в природе и эксперименте // Электронный научно-информационный журнал «Вестник Отделения наук о Земле РАН». №1(21). 2003. URL: [http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h\\_dgggms/1-2003/informbul-1/mineral-14.pdf](http://www.scgis.ru/russian/cp1251/h_dgggms/1-2003/informbul-1/mineral-14.pdf)
4. Жмодик С. М., Миронов А. Г., Агафонов Л. В. Интерметаллид Au и Sn в офиолитах Восточного Саяна // ЗВМО. 2000. Ч. 129. №2. С. 54–57.
5. Кудряшова В. И., Смольянинова В. Н. Новые минералы. LI // ЗВМО. 1997. Ч. 126. №6. С. 55.
6. Мурзин В. В., Бушмакин А. Ф., Сустанов С. Г. Хуньчунит  $Au_2Pb$  из россыпи р. Восточный Шишим (Средний Урал). Урал. минерал. сб. №6. Екатеринбург: Изд. УРО РАН, 1996. С. 96–103.
7. Новгородова М. И. Самородные металлы в гидротермальных рудах. М.: Наука, 1983. 286 с.
8. Разин Л. В., Сидоренко Г. А. Анъюит  $AuPb_2$  – новый интерметаллид золота и свинца // Минералогический журнал. Т. 11. №4. 1989. С. 88–96.
9. Сидоров Е. Г., Толстых Н. Д. Особенности минералов платиновой группы базит-гипербазитовых комплексов Корякско-Камчатского региона. Платина России. Сборник научных трудов. Т. VII. Красноярск. 2011. С. 200–216.
10. Спиридонов Э. М., Плетнёв П. А. Месторождение медистого золота Золотая Гора (о «золото-родингитовой формации»). М.: Научный мир, 2002. 220 с.
11. Спиридонов Э. М., Плетнёв П. А., Перельгина Е. В. и др. Геология и минералогия месторождения медистого золота Золотая Гора (Карабашское), Средний Урал (о проблеме «золото-родингитовой» формации). М.: изд. геолог. ф-та МГУ. 1997. 192 с.
12. Спиридонов Э. М. Обзор минералогии золота в ведущих типах Au минерализации // Золото Кольского полуострова и сопредельных регионов. Труды Всерос. науч. конф. Апатиты, 26–29 сентября 2010 г. Апатиты, 2010. С. 143–171.
13. Dyusembaeva K.S., Levin, V.L., Kotel'nikov et al. Novodneprite,  $AuPb_3$ , a new species of intermetallic compound from Novodneprovsk gold-arsenic-polymetallic deposit, northern Kazakhstan // Canadian Mineralogist. 2007. Vol. 45. P. 1277–1281.
14. Jambor J. L., Grew E. S., Roberts A. C. New mineral names. Hunchunite // American Mineralogist. 1994. Vol. 79. P. 1210.
15. Shangquan Wu, Yi Yang, Qun Song. A new gold mineral – Hunchunite ( $Au_2Pb$ ) // Acta Mineralogica Sinica. 1992. Vol. 12. P. 319–322.
16. Tolstykh N., Sidorov E., Kozlov A. Platinum group minerals from the Olkhovaya-1 placer related to the Karaginsky ophiolite complex, the Kamchatskiy Mys peninsula, Russia // Canadian Mineralogist. 2009. Vol. 47. №4. P. 793–811.