

УДК 549.27+930.56

**МИКРОВКЛЮЧЕНИЯ ПЛАТИНОИДОВ  
В ДРЕВНИХ ЗОЛОТЫХ ИЗДЕЛИЯХ:  
РАСПРОСТРАНЕНИЕ, СОСТАВ, ПРЕОБРАЗОВАНИЯ**

**В.В. Зайков<sup>1,3</sup>, П.К. Дашковский<sup>2</sup>, Е.В. Зайкова<sup>1</sup>,  
В.А. Котляров<sup>1</sup>, А.М. Юминов<sup>1,3</sup>, И.А. Блинов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Институт минералогии УрО РАН, г. Миасс, zaykov@mineralogy.ru*

<sup>2</sup> *Алтайский государственный университет, г. Барнаул, dashkovskiy@fjn.asu.ru*

<sup>3</sup> *Южно-Уральский государственный университет, филиал в г. Миассе, umin@mineralogy.ru*

**MICROINCLUSIONS OF PGM MINERALS  
IN ANCIENT GOLD PRODUCTS:  
OCCURRENCE, COMPOSITION, ALTERATION**

**V.V. Zaykov<sup>1,3</sup>, P.K. Dashkovsky<sup>2</sup>, E.V. Zaykova<sup>1</sup>,  
V.A. Kotlyarov<sup>1</sup>, A.M. Yuminov<sup>1,3</sup>, I.A. Blinov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Mineralogy UB RAS, Miass, zaykov@mineralogy.ru*

<sup>2</sup> *Altai State University, Barnaul, dashkovskiy@fjn.asu.ru*

<sup>3</sup> *South Ural State University, Miass, umin@mineralogy.ru*

Рассмотрены микровключения платиноидов в древних золотых изделиях Урала, Сибири, Приазовья и Туркменистана, сопоставимые с аналогичными включениями в артефактах Ближнего Востока. Микровключения выявлены в археологических памятниках, которые расположены вблизи золотоносных и платиноносных гипербазитовых поясов. Размер микровключений не превышает 100 мкм и обычно находится в пределах 5–20 мкм. Следы воздействия золотого расплава на морфологию и состав микровключений выражаются в появлении по периферии крупных индивидов ореола наноразмерных частиц, в которых произошёл вынос осмия. Дано сопоставление состава микровключений с составом платиноидов, выявленных в россыпях и гипербазитовых массивах.

Илл. 9. Табл. 4. Библ. 39.

*Ключевые слова:* микровключения, древние золотые изделия, осмий, иридий, рутений, расплав, вынос осмия, Урал, Сибирь, Приазовье, Туркмения.

The PGM microinclusions in ancient gold products from the Urals, Siberia, Azov region and Turkmenistan are compared with similar inclusions from the Middle East artifacts. Microinclusions were found in the archaeological sites, which are located close to gold- and platinum-bearing ultramafic massifs. The typical size of microinclusions is 5–20 μm, rare 100 μm. Traces of impact of the gold melt on morphology and composition of microinclusions are expressed in formation of a halo of fine PGM particles around the large grains with decreased Os contents. The composition of microinclusions is compared with composition of natural PGM grains from placers and ultramafic massifs.

Figures 9. Tables 4. References 39.

*Key words:* microinclusions, ancient gold products, osmium, iridium, ruthenium, melt, Os removal, Urals, Siberia, Azov, Turkmenistan.

Целью статьи является систематизация полученных в последние годы данных о распространении и составе микровключений платиноидов, их преобразованиях в золотом расплаве прошлых эпох. Распространение выявленных на территории Евразии микровключений, относящихся к платиноидам, показано на рис. 1.

Состав и номенклатура микровключений определялись по соотношению атомных количеств Os, Ru, Ir (Harris, Cabri, 1991) с помощью соответствующих тройных диаграмм. Наименование минерала производилось по преобладающему элементу в кристаллохимической формуле, указание разновидности – по подчинённым элементам (в порядке возрастания) и примесям. Приведём примеры: «осмий рутениево-иридиевый с примесью платины» ( $Os_{0,42} Ir_{0,37} Ru_{0,17} Pt_{0,04}$ ), «рутений осмиево-иридиевый» ( $Ru_{0,38} Ir_{0,31} Os_{0,27}$ ). Такой подход реализован в работе (Кобяшев, Никандров, 2007).

Геологическое значение данных микровключений заключается в возможности их использования для обоснования приуроченности источника металлов к PGM-содержащим месторождениям в зонах разломов с массивами гипербазитов.

Оптические исследования проведены В.В. Зайковым и А.М. Юминовым на микроскопе OLYMPUS, измерение состава частиц проводилось на электронных микроскопах РЭММА-202М (аналитик В.А. Котляров), Vega3 Tescan (аналитик И.А. Блинов) и JEOL JSM-7001F (аналитик Д.М. Галимов).

### Распространение микровключений платиноидов в древних золотых изделиях

Впервые микровключения платиноидов в древних золотых изделиях были выявлены в драгоценных коллекциях из Малой Азии (Young, 1972; Whitmore, Young, 1973). В этих публикациях речь идёт о включениях платинового иридия и предполагается, что украшения сделаны из золота долины р. Пактол в Турции. Позднее Дж. Огден (Ogden, 1976, 1977) дал всесторонний обзор включений металлов платиновой группы в археологическом золоте Египта и пришёл к заключению, что корреляция золотых изделий с его источниками трудно выполнима. Следующей важной работой является статья Н. Микса и М. Тайта (Meeks, Tite, 1980), в которой охарактеризованы включения осмия в артефактах Египта, Ура, Сирии, Палестины, Кипра, Крита и Лидии. Д. Уильямс и Дж. Огден (1995) и

Н. Микс (Meeks, 2000) опубликовали данные о включениях этого минерала в древних изделиях из Греции. По их мнению, присутствие в золоте крупиц осмия, иридия и рутения затрудняло изготовление тонкого золотого листа и проволоки малого диаметра. Детальный обзор находок осмия в золоте Малой Азии сделал П. Крэддок (Craddock, 2000).

В археологических памятниках на территории России микровключения платиноидов впервые были выявлены при изучении золотых изделий из могильников Кичигино I, Степное и Филипповка I в 2008 г. (Зайков и др., 2008; Юминов и др., 2008; Zaykov et al., 2008; Shemakhanskaya et al., 2009). Вслед за этим авторами установлены микровключения в золотых изделиях из могильников Филипповка II, Переволочан I, Яковлевка II, Магнитный, Большой Климовский, Степной, Ушкаттинский (рис. 2). Первый анализ распространения осмия в уральских артефактах был выполнен в работе «Осмиевый след по минеральным включениям в древних золотых изделиях» (Зайков и др., 2010а). Сделанный тогда вывод о возможности выявления микровключений осмия в артефактах Сибири подтвердился последующими исследованиями (Дашковский, Юминов, 2012). В 2013 г. В.В. Зайков, Е.В. Зайкова, А.М. Юминов и В.А. Котляров приступили к исследованию микровключений платиноидов в артефактах Фанагории в Северном Причерноморье (Зайков и др., в печати) и Гонур Депе в Туркменистане (Юминов, Дубова, 2014).

В Уральском регионе источниками осмия в золотых изделиях являются платиноносные массивы гипербазитов (Платинометальное..., 2001). Филипповские могильники располагаются к юго-западу от зоны Главного Уральского разлома, вмещающего месторождения золота. В них установлено 15 россыпей, содержащих примесь осмия в количестве 1–8 % относительно золота. К этой же зоне приурочены могильник Переволочан I и одиночный курган Яковлевка II, артефакты из которых содержат осмий. Могильники Магнитный, Большой Климовский и Кичигино I, в золотых изделиях из которых выявлены зёрна платиноидов, располагаются в зоне влияния Восточно-Уральского разлома.

В Алтае-Саянском регионе каркас из платиноносных гипербазитовых зон разделяет блоки земной коры южнее Сибирской платформы (Щербаков, Рослякова, 2000; Агафонов и др., 2005). Царский курган Аржан II находится в непосредственной близости от Хемчикско-Куртушибинского разлома с массивами гипербазитов. Эта структура вмещает

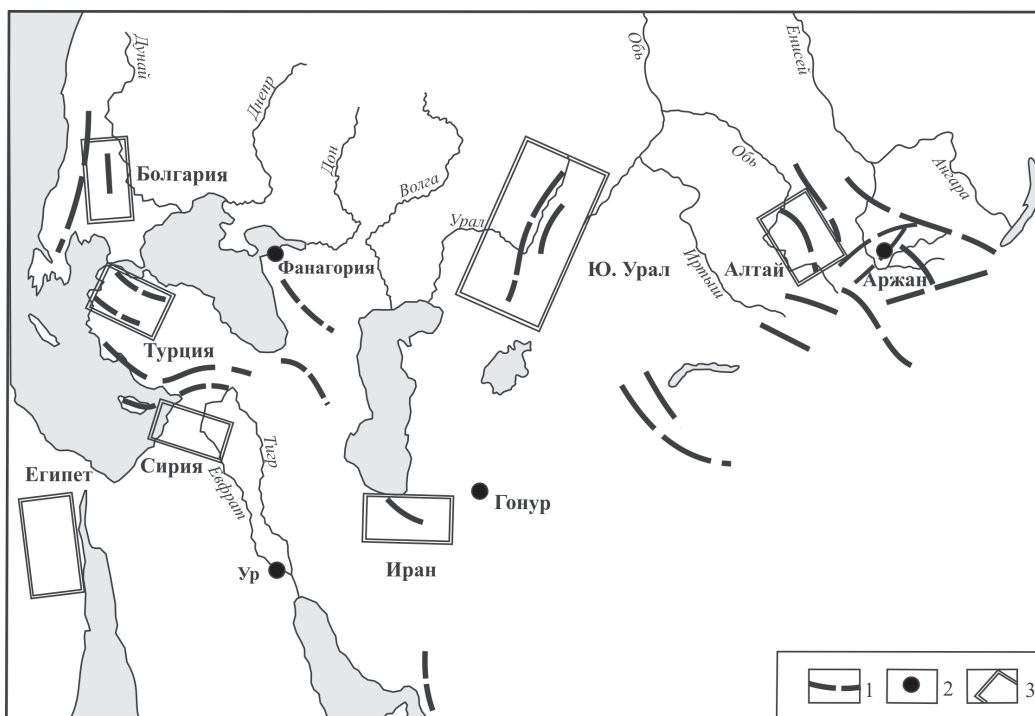


Рис. 1. Схема размещения археологических памятников Евразии с изделиями, содержащими микровключения платиноидов.

1 – офиолитовые зоны, содержащие гипербазитовые массивы, контролирующие размещение россыпей золота с платиноидами; 2 – одиночные археологические памятники с микровключениями платиноидов в золотых изделиях; 3 – участки распространения археологических памятников с золотыми изделиями, содержащими микровключения платиноидов.

Fig. 1. Location of archaeological sites with PGM-bearing gold products in Eurasia.

1 – ophiolite zones with ultramafic massifs, controlling gold placers with PGM minerals; 2 – single archaeological sites with PGM microinclusions in gold products; 3 – areas of archaeological sites with PGM-bearing gold products.

четыре золото-россыпных района, содержащих платиноиды: Алгянский, Каахемский, Эйлигхемский и р. Золотой. Наиболее детально исследован состав платиноидов из россыпей р. Золотой и ручья Неожиданного в Каахемском районе (Толстых и др., 1997; Агафонов и др., 2005). Состав большинства из этих минералов соответствует рутениевому тренду.

Могильники Ханкаринский Дол и Инской Дол располагаются на продолжении зоны Териктигского разлома, вмещающего гипербазиты. В 150 км восточнее могильников выявлено Каянчинское проявление хромитов с платиноидной минерализацией в виде вкрапленности осмия размером до 0.5 мм (Гусев, Кукоева, 2011). Западнее этого участка распространены россыпи золота по рекам Карамы, Ерусалим, Баранча, содержащие осмий.

Таким образом, распространение древних изделий из золота с микровключениями платиноидов и на Урале, и в Сибири определяется наличием рос-

сыпей, содержащих золото и платиноиды. Именно россыпное происхождение рассматриваемых частиц является причиной их частого присутствия в виде микровключений в древних золотых изделиях. В россыпях происходит измельчение осмия вследствие хорошей спайности и хрупкости минерала. Частицы имеют плотность 20–23 г/см<sup>3</sup> и при производстве изделий тонут в расплаве золота, плотность которого 16 г/см<sup>3</sup>. В отличие от осмия, платина более ковкая и образует в россыпях зёрна более крупных размеров, а также самородки, которые легко извлекались древними мастерами.

Ранее было показано (Зайков и др., 2010а), что источником золота уральских изделий, содержащих включения платиноидов, являются россыпные месторождения в геологических структурах с гипербазитами. В них совмещены месторождения хромитов с примесью платиноидов и золото-кварцевые жилы в лиственитах – пирит-слюдисто-квар-

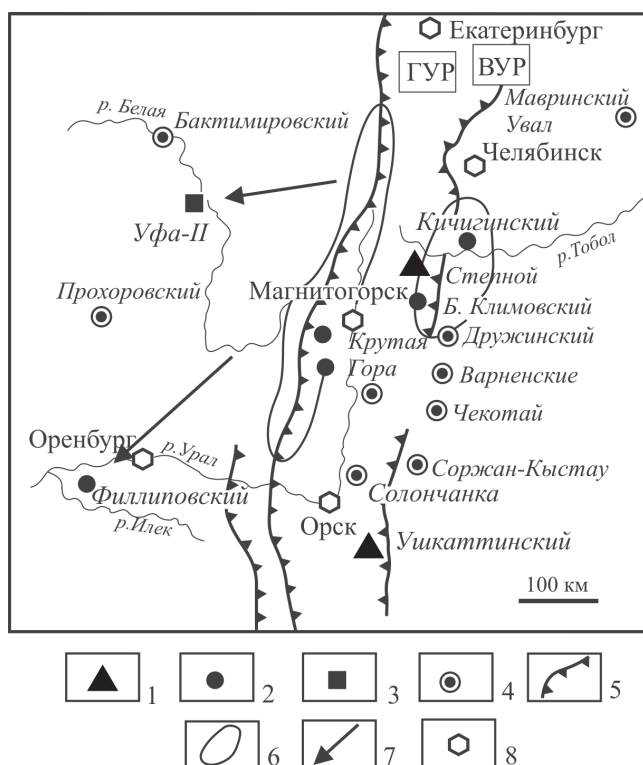


Рис. 2. Схема размещения исследованных археологических памятников на Южном Урале.

1–3 – археологические памятники, в золотых изделиях из которых установлены микровключения платиноидов: 1 – бронзового века, 2 – раннего железного века, 3 – раннего средневековья; 4 – исследованные курганы, в золотых изделиях из которых не выявлены микровключения платиноидов; 5 – фрагменты офиолитовых зон с массивами платиноносных гипербазитов; 6 – ареалы главных золотоносных россыпей; 7 – основные пути распространения золота; 8 – основные города.

Fig. 2. Location of studied archaeological sites in the South Urals.

1–3 – archaeological sites with PGM-bearing gold products: 1 – Bronze Age, 2 – Early Iron Age, 3 – Early Middle Ages; 4 – burial mounds without PGM-bearing gold products; 5 – fragments of ophiolite zones with platinum-bearing ultramafic massifs; 6 – areas of major gold placers; 7 – main pathways of gold spreading; 8 – main cities.

цевых породах, образовавшихся по гипербазитам (Благородные..., 2012). Сформировавшиеся россыпные залежи составляют порядка четверти от общего количества россыпей, имеющих другие источники. Среди последних развиты месторождения золота в гранитах и углеродистых породах. О разнообразии россыпеобразующих формаций свидетельствуют вариации состава золота, установленные при изучении древних изделий.

#### Микровключения платиноидов в древних золотых изделиях на Южном Урале

В степной и лесостепной зонах региона микровключения платиноидов обнаружены в золотых изделиях из семи археологических памятников раннесакского, савроматского и раннесарматского (VII–IV вв. до н. э.) времени: Кичигино I, Большом Климовском, Магнитном, Яковлевском II, Переволочанском I, Филипповке I и Филипповке II. Наиболее ранние находки в могильниках Степное и Ушкаттинский датируются бронзовым веком (Благородные..., 2012). Большинство «осмийсодержащих» курганов относится к раннему железному веку, а наиболее поздние – к раннему средневековью (Магнитный, ювелирная мастерская Уфа II). Состав микровключений в археологических памятниках Южного Урала показан

в табл. 1, содержания даны в мас. %. Номера проб, приведённые в тексте, соответствуют табл. 1.

#### Бронзовый век

**Могильник Степное, курган № 7.** Включения (1367a, b) выявлены в золотой фольге, покрывающей бронзовую подвеску. Они имеют пластинчатую форму, толщину 5–10 мкм (Юминов и др., 2008) и принадлежат осмию рутениево-иридиевому.

**Могильник Ушкаттинский, курган № 12.** Включение (Ук7) осмия рутениево-иридиевого размером 8 × 10 мкм обнаружено в золотой височной подвеске треугольной формы.

#### Ранний железный век

Наибольшее количество микровключений платиноидов – 42 экземпляра – установлено в могильниках Филипповских. Они встречены в золоте четырёх интервалов пробности: от 650 до 980 промилле. На поверхности 12 золотых изделий этого памятника М.С. Шемаханская отметила тёмные точечные включения, похожие на платиноиды (Трейстер и др., 2012).

**Могильник Филипповка I, курган № 1** (Яблонский, 2013б). В погребении найдены многочисленные золотые нашивные бляшки, содержащие

микровключения платиноидов. Размер последних варьирует от нескольких до 100 мкм. Вмещающее золото имеет состав (мас. %): Au 93–95, Ag 3, Cu 1–2. По соотношению атомов Os, Ru, Ir в кристаллохимических формулах выделяются три минерала (см. табл. 1):

1) осмий, две разновидности – осмий рутениево-иридиевый (F-13-2-1, F-13-9-2), осмий иридиево-рутениевый (F-13-3-5-1, F-13-3-9); в ряде случаев в незначительных количествах (1–3 ат. %) присутствуют родий и платина;

2) рутений, две разновидности – рутений иридиево-осмиевый, резко преобладающий, 11 микровключений (F-13-2, F-13-2-3, F-13-3, F-13-1, F-13-3-4, F-13-5-2, F-13-5-3, F-13-8-1, F-13-8-3, F-13-8-4, F-13-9-1); рутений осмиево-иридиевый (F-13-2-2, F-13-3-5-1, F-13-3-5-2, F-13-5-4, F-13-8-2); примесями также являются родий и платина.

3) иридий рутениево-осмиевый (F-13-8-5).

**Могильник Филипповка I, курган № 4** (раскопки Л.Т. Яблонского, 2006 г.). В золотой инкрустации железного меча обнаружено 18 включений платиноидов (Влияния..., 2012). Вмещающее золото имеет состав (мас. %): Au 98, Ag 1, Cu 1. Форма микровключений удлиненная, треугольная и округлая, размер 40–200 мкм. Часть зёрен раздроблена, а часть расщеплена по спайности. Выделяются следующие минералы:

1) осмий рутениево-иридиевый (7-1, 7-16);

2) рутений иридиево-осмиевый, иногда с примесью платины (7-2, 7-3, 7-6, 7-8, 7-9, 7-11);

3) иридий рутениево-осмиевый, содержащий платину (7-7, 7-10, 7-12, 7-17, 7-18).

**Могильник Филипповка II** расположен в 11 км к юго-западу от могильника Филипповка I. В кургане № 1 (Яблонский, 2013а) исследовано золото предметов из центральной погребальной камеры № 2. В золотой фольге Ф13-103 состава (мас. %): Au 74.58, Ag 22.86, Cu 2.12, – найдены два включения: одно размером 50 × 110 мкм, соответствующее иридию рутениево-осмиевому, второе длиной 5 мкм – осмию рутениево-иридиевому. Золотая фольга Ф13-73 состава (мас. %): Au 65.66, Ag 30.57, Cu 3.37, – содержит зерно иридия рутениево-осмиевого размером 10 × 15 мкм.

**Могильник Переволочан I.** Включение осмия было выявлено в литой декоративной накладке состава (мас. %): Au 88, Ag 3, Cu 8. Форма включения (11.5.8) близка к треугольной, размеры 8 × 10 мкм. Состав соответствует осмию рутениево-иридиевому.

**Одиночный курган Яковлевка II.** В височной подвеске-серьге, имеющей состав (мас. %): Au 81, Ag 17, Cu 2, – найдено включение (Я-3) линзовидной формы размером 16 × 22 мкм, соответствующее осмию рутениево-иридиевому.

Состав включений осмия из курганов могильника Переволочан I и кургана Яковлевка II практически идентичен при существенных различиях в составе вмещающего золота.

**Могильник Кичигино I.** В золотых изделиях из двух курганов установлены включения платиноидов овальной формы, имеющие размеры 7 × 18 и 20 × 50 мкм. Состав их различен, они относятся к осмию рутениево-иридиевому (курган № 3) и рутению осмиевому с иридием (курган № 5). Золото изделий (подвеска – курган 3 и браслет – курган 5) практически одинаково (мас. %): Au 71–72, Ag 23–24, Cu 3.

**Большой Климовский курган.** В золотой фольге найдено включение линзовидной формы длиной 10 мкм. Включение относится к рутению осмиево-иридиевому с родием и платиной.

## Раннее средневековье

**Могильник Магнитный.** Включения платиноидов установлены в бляшках полусферических и треугольных. В исследованных зёрнах выделяются три типа составов:

1) с преобладанием Os: осмий рутениево-иридиевый (M-2-A), осмий иридиево-рутениевый (M-II), осмий иридиевый (M3-1);

2) с преобладанием Ru: рутений иридиево-осмиевый, родий- и платино-содержащий (M2-1-1, M3-1-1);

3) с преобладанием Ir: иридий рутениево-осмиевый (M2-1), иридий осмиевый, содержащий рутений (M-III).

## Средневековье

**Городище Уфа II, ювелирная мастерская.** В золотой проволоке с содержанием серебра в пределах 2–3 %, меди 0.4 % обнаружено включение (УП-GO12-4а), которое относится к рутению иридиево-осмиевому. Во второй проволоке состава (мас. %): Au 61–64, Ag 31–32, Cu 5–6, – выявлено треугольное зерно (УП-GO123-4, -5) осмия рутениево-иридиевого.

Таблица 1

Table 1

Состав микровключений платиноидов в золотых изделиях из курганов Южного Урала  
Composition of PGM microinclusions in gold artifacts from the burial mounds of the South Urals

№ п/п	Могильник, № кургана	Изделие	№ включения	Кол-во во анал.	Содержания, мас. %						Кристаллохимические формулы минералов
					Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Fe	
Ранний железный век											
1			F-13-2	2	31.03	29.50	33.27	2.48	3.36	-	$Ru_{0.48}Os_{0.24}Ir_{0.22}Rh_{0.04}Pt_{0.02}$
2			F-13-2-1	4	54.25	39.01	5.18	0.45	0.54	0.29	$Os_{0.52}Ir_{0.37}Ru_{0.09}Fe_{0.01}Rh_{0.01}$
3			F-13-2-2	4	18.38	52.09	27.72	0.79	-	0.78	$Ru_{0.41}Ir_{0.41}Os_{0.15}Fe_{0.02}Rh_{0.01}$
4			F-13-2-3	2	31.52	25.87	39.84	1.58	0.70	0.04	$Ru_{0.55}Os_{0.23}Ir_{0.19}Rh_{0.02}Pt_{0.01}$
5			F-13-3	1	41.08	32.30	21.70	1.59	3.02	-	$Ru_{0.34}Os_{0.34}Ir_{0.27}Pt_{0.03}Rh_{0.02}$
6			F-13-3-1	3	33.56	17.33	46.88	1.81	0.11	-	$Ru_{0.62}Os_{0.24}Ir_{0.12}Rh_{0.02}$
7			F-13-3-4	4	39.50	17.76	40.44	1.77	0.26	-	$Ru_{0.56}Os_{0.29}Ir_{0.13}Rh_{0.02}$
8			F-13-3-5	2	56.33	21.80	21.04	0.57	-	-	$Os_{0.48}Ru_{0.33}Ir_{0.18}Rh_{0.01}$
9	Филипповский I, курган № 1	Золотые нашивки	F-13-3-9	4	61.14	13.65	19.65	0.54	1.15	-	$Os_{0.52}Ru_{0.31}Ir_{0.11}Rh_{0.03}Pt_{0.03}$
10			F-13-3-5-1	2	9.715	46.05	43.07	1.91	3.00	0.14	$Ru_{0.58}Ir_{0.33}Os_{0.07}Rh_{0.02}$
11			F-13-3-5-2	1	2.26	62.05	33.99	1.16	-	-	$Ru_{0.49}Ir_{0.47}Os_{0.02}Pt_{0.01}Rh_{0.01}$
12			F-13-5-2	2	9.83	6.84	79.70	0.60	0.76	-	$Ru_{0.89}Os_{0.06}Ir_{0.04}Rh_{0.01}$
13			F-13-5-3	1	41.58	15.98	39.62	0.60	0.76	-	$Ru_{0.56}Os_{0.31}Ir_{0.12}Rh_{0.01}$
14			F-13-5-4	4	7.23	20.58	60.91	5.54	5.74	-	$Ru_{0.73}Ir_{0.13}Os_{0.05}Rh_{0.06}Pt_{0.03}$
15			F-13-8-1	1	30.22	28.36	39.46	0.84	0.22	0.68	$Ru_{0.55}Os_{0.23}Ir_{0.21}Rh_{0.01}$
16			F-13-8-2	1	7.09	34.31	57.49	0.49	0.02	0.24	$Ru_{0.72}Ir_{0.22}Os_{0.05}Rh_{0.01}Fe_{0.01}$
17			F-13-8-3	1	36.11	32.80	26.58	0.77	2.78	0.35	$Ru_{0.40}Os_{0.29}Ir_{0.26}Pt_{0.02}Rh_{0.01}Fe_{0.01}$
18			F-13-8-4	1	44.45	22.23	32.32	0.14	-	-	$Ru_{0.48}Os_{0.35}Ir_{0.17}$
19			F-13-8-5	1	34.51	48.43	16.40	-	-	-	$Ir_{0.42}Os_{0.31}Ru_{0.27}$
20			F-13-9-1	2	47.54	8.40	42.21	1.12	-	-	$Ru_{0.57}Os_{0.35}Ir_{0.06}Rh_{0.02}$
21			F-13-9-2	1	42.37	35.88	18.39	0.93	1.94	-	$Os_{0.36}Ir_{0.31}Ru_{0.30}Pt_{0.02}Rh_{0.01}$

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Могильник, № кургана	Изделие	№ включения	Кол-во анал.	Содержания, мас. %					Кристаллохимические формулы минералов	
					Os	Ir	Ru	Rh	Pt		Fe
22			7-1	6	45.76	36.10	17.45	-	-	-	$Os_{0,40}Ir_{0,31}Ru_{0,29}$
23			7-2	10	34.54	29.30	27.66	-	8.06	-	$Ru_{0,42}Os_{0,28}Ir_{0,24}Pt_{0,06}$
24			7-3	7	35.28	29.20	27.63	-	7.36	-	$Ru_{0,42}Os_{0,29}Ir_{0,23}Pt_{0,06}$
25			7-4	1	57.58	14.82	27.02	-	-	-	$Os_{0,47}Ru_{0,41}Ir_{0,12}$
26			7-5	8	56.88	17.04	25.57	-	-	-	$Os_{0,47}Ru_{0,39}Ir_{0,14}$
27			7-6	7	55.07	8.97	35.42	-	-	-	$Ru_{0,51}Os_{0,42}Ir_{0,07}$
28			7-7	5	32.67	53.85	3.43	-	9.50	-	$Ir_{0,53}Os_{0,32}Pt_{0,09}Ru_{0,06}$
29			7-8	6	45.03	20.56	33.93	-	-	-	$Ru_{0,49}Os_{0,35}Ir_{0,16}$
30	Филиповский I, курган № 4	Золотая инкрустация железного меча	7-9	7	37.23	29.91	26.88	-	5.58	-	$Ru_{0,41}Os_{0,30}Ir_{0,24}Pt_{0,05}$
31			7-10	5	35.12	58.52	2.26	-	3.63	-	$Ir_{0,57}Os_{0,35}Ru_{0,04}Pt_{0,04}$
32			7-11	5	56.53	10.16	32.78	-	-	-	$Ru_{0,48}Os_{0,44}Ir_{0,08}$
33			7-12	5	37.74	56.05	5.87	-	-	-	$Ir_{0,55}Os_{0,37}Ru_{0,08}$
34			7-13	3	79.45	12.64	7.58	-	-	-	$Os_{0,75}Ru_{0,13}Ir_{0,12}$
35			7-14	2	73.36	16.17	10.09	-	-	-	$Os_{0,68}Ru_{0,17}Ir_{0,15}$
36			7-15	3	72.60	16.83	10.29	-	-	-	$Os_{0,67}Ru_{0,18}Ir_{0,15}$
37			7-16	6	40.32	38.13	17.28	-	3.80	-	$Os_{0,35}Ir_{0,33}Ru_{0,29}Pt_{0,03}$
38			7-17	5	35.83	53.34	2.85	-	7.59	-	$Ir_{0,52}Os_{0,36}Ru_{0,05}Pt_{0,07}$
39			7-18	8	38.99	42.80	17.71	-	-	-	$Ir_{0,37}Os_{0,34}Ru_{0,29}$
40	Филиповский II, курган № 1*	Золотая накладка	Ф 13-103а-е	5	18.28	76.94	3.52	0.94	-	-	$Ir_{0,74}Os_{0,18}Ru_{0,06}Rh_{0,02}$
41			Ф 13-103жк	2	58.65	35.02	5.45	0.47	-	-	$Os_{0,56}Ir_{0,33}Ru_{0,10}Rh_{0,01}$
42			Ф 13-73	5	39.76	51.89	1.72	1.40	4.86	-	$Ir_{0,50}Os_{0,39}Pt_{0,06}Rh_{0,03}Ru_{0,02}$
43			Переволочан I	4	71.86	21.15	6.81	-	-	-	$Os_{0,68}Ir_{0,20}Ru_{0,12}$
44	Яковлевский	Подвеска	Я-3	6	71.85	24.21	3.71	-	-	$Os_{0,70}Ir_{0,23}Ru_{0,07}$	
45	Кичигинский I, № 3	Фольга	МЯ5-бр	4	49.61	36.10	14.02	-	-	$Os_{0,44}Ir_{0,32}Ru_{0,24}$	
46	Кичигинский I, № 5	Фольга	7 к	4	46.23	11.82	41.53	-	-	$Ru_{0,57}Os_{0,34}Ir_{0,09}$	

Окончание таблицы 1

№ п/п	Могильник, № кургана	Изделие	№ включения	Кол-во во анал.	Содержания, мас %					Кристаллохимические формулы минералов
					Os	Ir	Ru	Rh	Pt	
47	Б. Климовский	Фольга	173-БК	3	33.15	33.76	27.27	2.60	2.93	$Ru_{0,41}Ir_{0,27}Os_{0,26}Rh_{0,04}Pt_{0,02}$
Бронзовый век										
48	Степное	Фольга	1637а	6	40.78	40.56	13.38	-	-	$Os_{0,35}Ir_{0,35}Ru_{0,30}$
49			1637б	5	39.43	41.74	18.28	-	-	$Ir_{0,36}Os_{0,34}Ru_{0,30}$
50	Ушкаттинский	Фольга	Ук7	3	64.82	34.11	0.47	-	-	$Os_{0,65}Ir_{0,34}Ru_{0,01}$
Раннее средневековье										
51	Магнитный, курган № 21	Бляшки полу-сферические	M2-1	2	40.06	50.27	7.34	-	0.40	$Ir_{0,45}Os_{0,36}Ru_{0,12}Fe_{0,06}Rh_{0,01}$
52			M2-1-1	4	32.89	30.06	29.87	2.76	3.51	$Ru_{0,43}Os_{0,26}Ir_{0,23}Pt_{0,02}Fe_{0,01}$
53			M2-A	5	46.55	39.29	12.26	-	0.84	$Os_{0,41}Ir_{0,34}Ru_{0,21}Fe_{0,05}Rh_{0,013}$
54		M-П	5	73.62	14.47	10.41	-	1.32	$Os_{0,67}Ru_{0,18}Ir_{0,13}Rh_{0,02}$	
55		M3-1	5	59.86	37.05	2.39	-	0.30	$Os_{0,59}Ir_{0,36}Ru_{0,04}Fe_{0,01}$	
56		M3-1-1	5	42.74	13.01	37.80	3.14	3.05	$Ru_{0,52}Os_{0,32}Ir_{0,10}Rh_{0,04}Pt_{0,02}$	
57	M-П	6	28.82	60.97	5.68	-	-	4.25	$Ir_{0,53}Os_{0,25}Fe_{0,13}Ru_{0,09}$	
Средневековье										
58	Уфа II	Проволока	УП-GO12-3	5	44.25	41.83	13.40	-	-	$Os_{0,40}Ir_{0,37}Ru_{0,23}$
59			УП-GO12-4	4	47.85	37.34	14.92	-	-	$Os_{0,42}Ir_{0,33}Ru_{0,25}$
60			УП-GO12-4а	6	31.56	23.52	36.20	3.75	4.72	$Ru_{0,51}Os_{0,24}Ir_{0,17}Rh_{0,05}Pt_{0,03}$

*Примечание.* Материал из раскопок: 1–42 – Л.Т. Яблонского; 43, 44 – С.В. Сиротина; 45–47 и 51–57 – А.Д. Таирова; 48, 49 – Д.Г. Здановича; 50 – В.В. Ткачёва; 58–60 – А.Н. Султановой. Анализы выполнены в Южно-Уральском центре коллективного пользования на сканирующих электронных микроскопах РЭММА-202М (аналитик В.А. Котляров) и VEGA3 TESCAN (\* аналитик И.А. Блинов). Кристаллохимические формулы рассчитаны на сумму металлов, равную 1.

*Note.* Samples from the excavation of: 1–42 – L. T. Yablonskii; 43, 44 – S. V. Sirotnin; 45–47 and 51–57 – A. D. Tairrov; 48, 49 – D. G. Zdanovich; 50 – V. V. Tkachev; 58–60 – A. N. Sultanova. Analyses were carried out on a REMMA-202M SEM (analyst V.A. Kotlyarov) and VEGA3 TESCAN SEM (\* analyst I.A. Blinov) in the South Urals Center for Collective Use. The formulae of minerals are recalculated to metal sum of 1.



### Микровключения платиноидов в древних золотых изделиях Южной Сибири

На территории Южной Сибири микровключения платиноидов выявлены в трёх археологических памятниках из девяти, в которых был изучен состав золота: в царском кургане Аржан II (Тува), могильниках Ханкаринский Дол и Инской Дол (рис. 3, табл. 2). Все они датируются ранним железным веком.

**Царский курган Аржан II** (Тува). Под каменной насыпью кургана, по периметру которой располагалась крепида, вскрыто захоронение двух человек с золотыми украшениями. Памятник является захоронением представителей высшей знати и датируется второй половиной VII в. до н. э. Вещи из кургана демонстрируют четыре манеры исполнения (Чугунов, 2011). Наиболее многочисленны тиражированные бляшки в виде профилей кошачьих хищников и кабанов, портупейные обоймы и пряжки кинжала и акинака, ворворки поясного набора. Вторая группа включает бляшки головных уборов в виде лошадей, баранов и оленей. Фигуры вырезаны из плоских листов металла.

Микронзондовый анализ показал, что изделия изготавливались из самородного золота средней пробы. В золотой инкрустации железного меча (состав, мас. %: Au 89.72–92.21, Ag 7.08–9.01, Cu 0.67–0.89) обнаружено микровключение осмия иридиевого. Зерно (Ар-2-3-1) размером  $7 \times 10$  мкм угловатой формы, слабоокатанное, разбитое сетью трещин.

**Могильник Ханкаринский Дол, курган № 15** (Чинетский археологический микрорайон Алтая). При раскопках найдены предметы из золота: золотая обкладка гривны, зооморфные аппликации, нашивка и окантовка из фольги женского головного убора, восьмёркообразная проволочная серьга (Дашковский, Юминов, 2012). Курган относится к пазырыкской культуре и датирован по признакам погребального обряда и инвентаря, а также данным радиоуглеродного анализа IV – началом III вв. до н. э. (Тишкин, Дашковский, 2007). Золотые изделия имеют состав (мас. %): золото – 69.50–72.05, серебро 23.94–26.25, медь – 2.85–4.26.

При исследовании золотой фольги в пяти изделиях были выявлены 7 включений платиноидов. Включения размером от 2 до 10 мкм имеют удлиненную, близкую к линзовидной, форму. По атомному соотношению Os, Ru, Ir, Rh в кристаллохимических формулах выделяются три минерала:

1) с преобладанием осмия (см. табл. 2: Ха-15-8, Хн-11-2, Хн-18, Хн-25) – осмий рутениево-иридиевый с небольшим количеством платины и родия;

2) с преобладанием рутения – рутений иридиево-осмиевый с небольшим количеством платины и родия (ХД-15-2-1, Ха-15-2-2, Ха-15-7); рутений осмиево-иридиевый с небольшим количеством платины (Ха-15-1а);

3) с преобладанием иридия – иридий осмиевый и рутениево-осмиевый (Ха-15-1б, Ха-15-6).

Особенностью золотых изделий Ханкаринского Дола в пробе № Хн-19 является присутствие включений кислородных медисто-железистых соединений. Они имеют размер 20–250 мкм, овальную, треугольную и дугообразную форму, подвержены растрескиванию (рис. 4). Величина мелких блоков находится в пределах 10–60 мкм. Состав включений показан в табл. 3. Судя по примеси Si, P, Ca, они могли возникнуть как технический продукт при воздействии золотого расплава на сульфиды железа и меди, присутствовавшие в россыпи. Такие соединения могли образоваться и при воздействии медного расплава на оксиды железа в процессе выплавки меди – легирующей добавки к золоту.

**Могильник Инской Дол** также располагается в Чинетском археологическом микрорайоне. По особенностям погребального обряда и инвентаря датирован IV – началом III вв. до н. э.

В кургане № 1 зафиксирована деревянная конструкция в виде перекрытия из плах. Рядом с погребённым находились керамический сосуд, железный нож, деревянная гривна, обложенная золотой фольгой, сильно корродированный железный предмет и многочисленные фрагменты золотой фольги от головного убора.

В золотой фольге состава (мас. %): Au 57–60, Ag 36–39, Cu 3, – присутствуют овальные микровключения платиноидов размером от первых до  $80 \times 120$  мкм. Среди них установлены минералы осмия и иридия:

осмий иридиево-рутениевый с родием и платиной (In-3-3, In-4);

иридий рутениево-осмиевый с небольшим количеством родия и платины (In-3-1, In -3-2).

В кургане № 2 в золотой фольге найдены включения осмия рутениево-иридиевого с примесью родия и платины. Состав вмещающего золота (мас. %): Au 61–64, Ag 32–33, Cu 3.

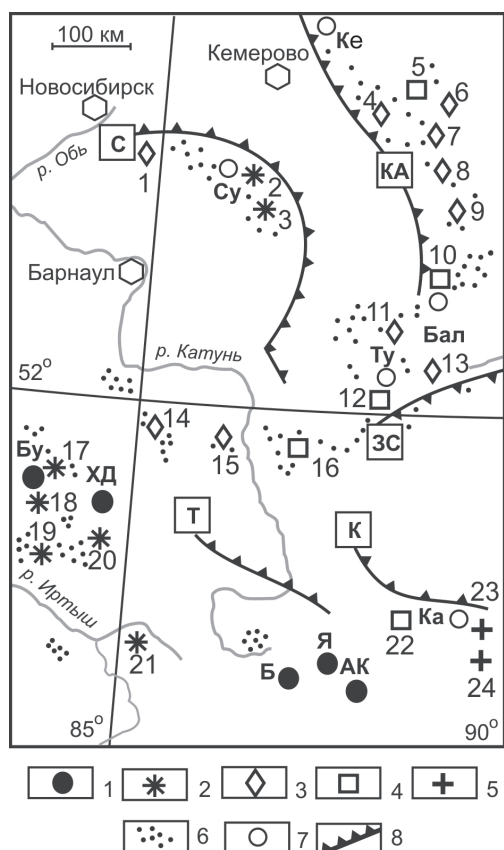


Рис. 3. Схема расположения золотоносных курганов, месторождений золота и находок платиноидов среди массивов гипербазитов на Алтае, в Салаире, Кузнецком Алатау и Горной Шории.

1) археологические памятники, по которым опубликованы сведения о составе золота: Бу – Бугры; ХД – Ханкаринский Дол, Инской Дол, Чинеты II; Я – Яломан; АК – Ак-Аллаха, Кальджин, Кунгуртас; Б – Берельское; 2–5 – золоторудные месторождения: 2) золотоносные зоны окисления колчеданных месторождений, 3) золото-кварцевые, 4) золото-скарновые, 5) золото-серебряные; 6) участки развития россыпей золота; 7) пункты выявления платиноидов в россыпях: Ке – Кельбес; Су – Суенга (Салаир); Бал – Балыкса (Кузнецкий Алатау); Ту – Туенза (Горная Шория); Ка –

Каура, Каурчак (Горный Алтай); 8) офиолитовые зоны с телами гипербазитов, содержащих платиноиды: С – Салаирская, КА – Кузнецко-Алатауская, ЗС – Западно-Саянская, Т – Теректигская, К – Курайская.

Названия месторождений, по которым имеются сведения о составе самородного золота: 1 – Егорьевское, 2 – Урское, 3 – Кварцитовая сопка, 4 – Центральное, 5 – Натальевское, 6 – Комсомольское, 7 – Берикольское, 8 – Саралинское, 9 – Коммунарское, 10 – Фёдоровское, 11 – Джелсай, 12 – Лебёдское, 13 – Кызасс-Анзасское, 14 – Топольное, 15 – Каянчинское, 16 – Синюхинское, 17 – Мурзинское, 18 – Змеиногорское, 19 – Золотушинское, 20 – Риддер-Сокольное, 21 – Зырянское, 22 – Тошан, 23 – Озёрное, 24 – Асхатинское.

Fig. 3. Location of gold-bearing burial mounds, gold deposits and ultramafic massifs with PGE minerals in the Altai, Salair, Kuznetsk Alatau, Gornaya Shoria.

1) archaeological sites with published gold composition: Бу – Bugry, ХД – Hankarinskii Dol, Inskoi Dol, Chinety II; Я – Yaloman; АК – Ak-Allaha, Kal'dzhin, Kungurtas; Б – Berel'skoe; 2–5 – gold deposits: 2) gold-bearing supergenesis zones of massive sulfide deposits, 3) gold-quartz, 4) gold skarn, 5) gold-silver; 6) areas of gold placers; 7) points with PGE minerals in placers: Ke – Kelbes; Cy – Suenga (Salair); Бал – Balyksa (Kuznetsk Alatau); Ту – Tuenza (Gornaya Shoriya); Ка – Kaura, Kaurchak (Gornyi Altai); 8) ophiolite zones with ultramafic bodies with PGE minerals: С – Salairskaya, КА – Kuznetsk Alatau, ЗС – Zapadno-Sayanskaya, Т – Terektig, К – Kurai.

Deposits with published gold composition: 1 – Egor'evskoe, 2 – Urskoe, 3 – Kvarzitovaya Sopka, 4 – Tsentral'noe, 5 – Natal'evskoe, 6 – Komsomol'skoe, 7 – Berikul'skoe, 8 – Saralinskoe, 9 – Kommunar'skoe, 10 – Fedorovskoe, 11 – Dzhelsai, 12 – Lebed'skoe, 13 – Kyzas-Anzass, 14 – Topol'noe, 15 – Kayanchinskoe, 16 – Sinuhinskoe, 17 – Mupzinskoe, 18 – Zmeinogorskoe, 19 – Zolotushinskoe, 20 – Ridder-Sokol'noe, 21 – Zuryanovskoe, 22 – Toshan, 23 – Ozyernoie, 24 – Ashatinskoe.

### Микровключения платиноидов в древних золотых изделиях античного города Фанагория (Северное Причерноморье)

Фанагория – крупнейший памятник археологии мирового значения на Таманском полуострове. Основанный в VI в. до н. э. греческими переселенцами, город долгое время был азиатской столицей эллинистического Боспорского царства, просуще-

ствовавшего до VI в. н. э. (ru.wikipedia.org/wiki/Фанагория). Для исследования были использованы материалы из раскопок В.Д. Кузнецова (Фанагорийская комплексная археологическая экспедиция).

В исследованных изделиях микровключения платиноидов установлены в листочках золотого венка кат. № 138. Всего зафиксировано 15 зёрен (Зайков и др., в печати). Зёрна 138с-2 и 138с-10 представляют собой фрагменты кристаллов размером 50 и

Таблица 2

## Состав микровключений платиноидов в золотых изделиях из курганов раннего железного века Сибири

Table 2

## Composition of PGM microinclusions in gold artifacts from the Early Iron Age burial mounds in Siberia

№ п/п	Могильник, № кургана	Изделие	№ включения	Кол-во анал.	Содержания, мас. %						Кристаллохимические формулы минералов	
					Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Fe		
1	Аржан II	Инкрустация на железном чекане	Ар-2-3-1	2	72.52	27.48	-	-	-	-	-	Os <sub>0.73</sub> Ir <sub>0.27</sub>
2	Ханкариинский Дол, курган № 15	Фольга обкладки гривны	Ха-15-1а	3	32.24	37.71	24.68	-	5.12	-	-	Ru <sub>0.38</sub> Ir <sub>0.31</sub> Os <sub>0.27</sub> Pt <sub>0.04</sub>
3		Фольга обкладки гривны	Ха-15-1б	3	42.12	46.71	10.68	-	-	-	-	Ir <sub>0.43</sub> Os <sub>0.39</sub> Ru <sub>0.18</sub>
4		Апликация с головного убора	XD-15-2-1	4	59.03	1.94	37.14	-	-	-	-	Ru <sub>0.53</sub> Os <sub>0.44</sub> Rh <sub>0.02</sub> Ir <sub>0.01</sub>
5	Ханкариинский Дол, курган № 15	Апликация с головного убора	XD-15-2-2	5	39.84	34.47	22.19	1.09	2.15	-	-	Ru <sub>0.33</sub> Os <sub>0.33</sub> Ir <sub>0.28</sub> Pt <sub>0.02</sub> Rh <sub>0.02</sub>
6		Фольга с окантовки головного убора	Ха-15-6	1	17.28	82.17	-	-	-	-	-	Ir <sub>0.82</sub> Os <sub>0.18</sub>
7	Ханкариинский Дол, курган № 15	Фольга с окантовки головного убора	Ха-15-7	1	35.75	30.17	30.24	-	3.03	-	-	Ru <sub>0.45</sub> Os <sub>0.29</sub> Ir <sub>0.24</sub> Pt <sub>0.02</sub>
8		Золотая нашивка на воротник	Ха-15-8	1	45.71	39.83	9.65	-	4.41	-	-	Os <sub>0.42</sub> Ir <sub>0.37</sub> Ru <sub>0.17</sub> Pt <sub>0.04</sub>
9	Ханкариинский Дол, курган № 22	Фольга с головного убора	Хп-11-2	5	62.09	31.87	5.25	0.09	0.00	0.28	-	Os <sub>0.59</sub> Ir <sub>0.30</sub> Ru <sub>0.10</sub> Fe <sub>0.01</sub>
10		Фольга с головного убора	Хп-18	4	50.02	41.43	7.70	0.50	0.00	0.15	-	Os <sub>0.47</sub> Ir <sub>0.38</sub> Ru <sub>0.14</sub> Rh <sub>0.01</sub>
11	Ханкариинский Дол, курган № 22	Фольга	Хп-25	3	65.79	26.07	7.42	0.29	0.00	0.16	-	Os <sub>0.62</sub> Ir <sub>0.24</sub> Ru <sub>0.13</sub> Rh <sub>0.01</sub>
12		Фольга	Ин-3-1	1	22.12	69.42	0.92	0.68	2.93	3.32	-	Ir <sub>0.63</sub> Os <sub>0.21</sub> Fe <sub>0.10</sub> Pt <sub>0.03</sub> Ru <sub>0.02</sub> Rh <sub>0.01</sub>
13	Инской Дол, курган № 1	Фольга	Ин-3-2	3	33.58	58.41	1.42	0.55	1.78	4.10	-	Ir <sub>0.52</sub> Os <sub>0.30</sub> Fe <sub>0.13</sub> Ru <sub>0.02</sub> Pt <sub>0.02</sub> Rh <sub>0.01</sub>
14		Фольга	Ин-3-3	1	39.70	34.55	20.85	1.29	2.93	0.31	-	Os <sub>0.33</sub> Ru <sub>0.33</sub> Ir <sub>0.29</sub> Pt <sub>0.02</sub> Rh <sub>0.02</sub> Fe <sub>0.01</sub>
15	Инской Дол, курган № 2	Фольга с головного убора	Ин-4	1	50.22	33.19	13.07	1.61	1.73	-	-	Os <sub>0.45</sub> Ir <sub>0.29</sub> Ru <sub>0.22</sub> Rh <sub>0.03</sub> Pt <sub>0.01</sub>
16		Золотая нашивка	ID-5	6	51.74	37.47	8.63	0.81	0.81	0.26	-	Os <sub>0.48</sub> Ir <sub>0.34</sub> Ru <sub>0.15</sub> Rh <sub>0.02</sub> Pt <sub>0.01</sub> Fe <sub>0.01</sub>
17	Инской Дол, курган № 2	Золотая нашивка	ID-8	1	51.92	38.76	7.86	0.39	-	-	-	Os <sub>0.49</sub> Ir <sub>0.36</sub> Ru <sub>0.14</sub> Rh <sub>0.01</sub>

Примечание. Материал из раскопок: 1 – К.В. Чугунова; 2–17 – П.К. Дашковского. Анализы выполнены в Южно-Уральском центре коллективного пользования на электронном микроскопе РЭММА-202М (аналитик В.А. Котляров). Кристаллохимические формулы рассчитаны на сумму металлов, равную 1.

Note. Samples from the excavation of: 1 – K. V. Chugunov; 2–17 – P. K. Dashkovsky. Analyses were carried out on a REMMA-202M SEM (analyst V. A. Kotlyarov) in the South Urals Center for Collective Use. The formulae of minerals are recalculated to metal sum of 1.

Таблица 3

Состав включений кислородных соединений железа и меди,  
а также силикатных минералов в золоте

Table 3

Composition of inclusions of Fe and Cu oxides and silicate minerals in gold

Состав кислородных соединений железа и меди											
№ п/п	Анализ	O	Mg	Al	Si	P	Ca	Fe	Cu	Сумма	Формула
1	a	29.98	-	-	-	-	0.19	69.82		100	$(\text{Fe}_{2.00}\text{Ca}_{0.01})_{2.01}\text{O}_{3.00}$
2	b	31.99	-	-	-	-	0.21	66.64	0.55	99.39	$(\text{Fe}_{1.79}\text{Cu}_{0.01}\text{Ca}_{0.01})_{1.81}\text{O}_{3.00}$
3	c	30.26	-	-	-	-	0.15	69.14	0.44	100	$(\text{Fe}_{1.97}\text{Cu}_{0.01}\text{Ca}_{0.01})_{1.98}\text{O}_{3.00}$
4	f	31.88	-	0.17	-	-	0.31	59.03	8.61	100	$(\text{Fe}_{1.59}\text{Cu}_{0.20}\text{Ca}_{0.01}\text{Al}_{0.01})_{1.82}\text{O}_{3.00}$
5	l	31.98	-	0.1	0.16	-	0.32	62.18	5.39	100.14	$(\text{Fe}_{1.67}\text{Cu}_{0.13}\text{Ca}_{0.01}\text{Al}_{0.01}\text{Si}_{0.01})_{1.83}\text{O}_{3.00}$
6	n	29.73	-	0.16	0.18	-	0.45	56.36	13.13	100	$(\text{Fe}_{1.63}\text{Cu}_{0.33}\text{Ca}_{0.02}\text{Al}_{0.01}\text{Si}_{0.01})_{2.00}\text{O}_{3.00}$
7	o	31.27	-	-	0.12	-	0.41	57.38	10.19	99.38	$(\text{Fe}_{1.58}\text{Cu}_{0.25}\text{Ca}_{0.02}\text{Si}_{0.01})_{1.85}\text{O}_{3.00}$
8	r	31.33	-	0.14	0.1	-	0.35	53.96	13.21	99.08	$(\text{Fe}_{1.48}\text{Cu}_{0.32}\text{Ca}_{0.01}\text{Al}_{0.01}\text{Si}_{0.01})_{1.83}\text{O}_{3.00}$
9	w	34.87	0.23	0.14	0.2	0.42	0.79	56.41	6.95	100	$(\text{Fe}_{1.86}\text{Cu}_{0.20}\text{Ca}_{0.04}\text{Mg}_{0.02}\text{P}_{0.02}\text{Si}_{0.01}\text{Al}_{0.01})_{2.16}\text{O}_{4.00}$
Состав включений силикатов											
№ п/п	Анализ	Na <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Сумма	Формула		
10	m	10.14	19.19	69.22	0.72	0.72	-	99.99	$(\text{Na}_{0.85}\text{K}_{0.04}\text{Ca}_{0.03})_{0.93}\text{Al}_{0.99}\text{Si}_{3.03}\text{O}_{8.00}$		
11	p	11.9	20.06	65.99	0.28	0.46	1.31	100	$(\text{Na}_{1.02}\text{K}_{0.02}\text{Ca}_{0.02})_{1.06}\text{Al}_{1.05}\text{Fe}_{0.04}\text{Si}_{2.92}\text{O}_{8.00}$		
12	q	11.3	20.36	65.32	0.51	1.03	1.48	100	$(\text{Na}_{0.98}\text{K}_{0.03}\text{Ca}_{0.05})_{1.06}\text{Al}_{1.07}\text{Fe}_{0.05}\text{Si}_{2.92}\text{O}_{8.00}$		
13	s	9.55	19.71	66.45	1.84	0.56	1.89	100	$(\text{Na}_{0.67}\text{K}_{0.09}\text{Ca}_{0.02})_{0.78}\text{Al}_{0.84}\text{Si}_{2.41}\text{Fe}_{0.05}\text{O}_{8.00}$		
14	v	12.21	20.09	66.7	0.53	0.47	-	100	$(\text{Na}_{1.04}\text{K}_{0.3}\text{Ca}_{0.02})_{1.09}\text{Al}_{1.04}\text{Si}_{2.95}\text{O}_{8.00}$		

Примечание. Все анализы силикатов представлены альбитом (кислым плагиоклазом), кроме анализа № 13, который, вероятно, является стеклом близкого к альбиту состава (кислое силикатное стекло). Кристаллохимические формулы для анализов 1–8 рассчитаны на O = 3; 9 – O = 4; 10–14 – O = 8.

Note. All analyses of silicates correspond to albite except for the analysis № 13, which is most likely a glass close to the albite in composition. Formulae are recalculated to three, four, and eight O atoms for analyses 1–8, 9, and 1–14, respectively.

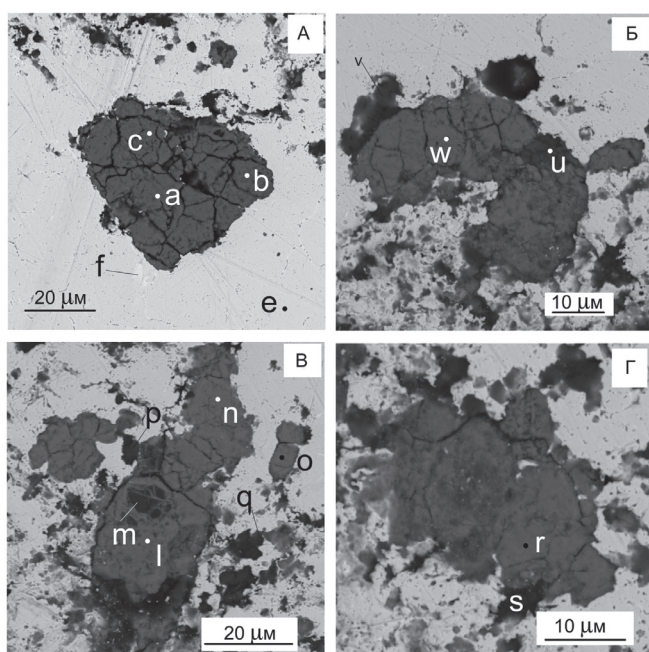


Рис. 4. Микровключения оксидов железа в фольге могильника Ханкаринский Дол (обр. Хн 19-1), снимки в отражённых электронах.

Белое – вмещающее золото; тёмно-серое – оксид железа; чёрное – силикат.

Fig. 4. Iron oxide microinclusions in foil of the Hankarinskii Dol grave field (smp. Xn 19-1), BSE-images.

White – host gold; dark gray – iron oxide; black – silicate.

80 мкм. Зёрна 138a и 138b – вытянутые частицы длиной 12–20 мкм при ширине 4–8 мкм. Однако большинство микровключений имеют размер 3–10 мкм, округлую или сглаженную морфологию. Охарактеризованная форма объясняется окатыванием при речном переносе. Большинство зёрен (11 экз.) относится к рутению иридиево-осмиевому, остальные 4 экз. – к осмию иридиево-рутениевому. Практически во всех микровключениях присутствует платина в количестве 0.5–3.1 %.

Вмещающее золото практически одинаково по составу (мас. %): Au 97–98, Ag 0.6–2.5, Cu 0.3–0.9 (данные рентгеноспектрального анализа). Несомненно, оно получено путём рафинирования металла.

### Микровключения платиноидов в древних золотых изделиях Гонур Депе (Туркменистан)

Административно-культурный комплекс Гонур Депе (пер. с туркменского – «Серый холм») был открыт В.И. Сарияниди в 1972 г. Он находится в 85 км севернее г. Байрамали (Марыйский велаят, республика Туркменистан). Комплекс был основан в конце III тыс. до н. э. и просуществовал до середины II тыс. до н. э. (Сарияниди, 2007). Древний город был обнесён тройным кольцом мощных крепостных стен с башнями. В центральной части располагались Царский дворец с огромными парадными помещениями, а также многочисленные культовые постройки. Общая площадь памятника превышает 25 га. В непосредственной близости от объекта находился Большой некрополь, который функционировал на всём протяжении существования памятника.

За время археологических раскопок, наряду с уникальным археологическим материалом, была собрана богатая коллекция древних золотых изделий (Сарияниди, 2007; Сарияниди, Дубова, 2010). Работы по определению состава гонурского золота начали проводиться с 2011 г. К настоящему времени проанализированы изделия из золота, обнаруженные на царском некрополе (гробницы №№ 3880; 3915) и на раскопе № 18 (погребения №№ 3990; 4015). В первом случае в круг рассматриваемых предметов входила золотая фольга, использовавшаяся для обкладки деревянных изделий, во втором – исследовались фрагменты бусин сферической и шайбовидной формы, а также золотая серёжка.

В золотой серёжке состава (мас. %): Au 88, Ag 10, Cu 1.4, – присутствуют микровключения минера-

лов платиновой группы. Размер наиболее крупного (P18 П4015) достигает 100 мкм. Оно имеет удлинённую форму с многочисленными отростками. Углы и поверхность зерна сглажены, выступы и грани отсутствуют, по центру зерна проходит глубокая трещина, степень окатанности средняя. Микровключение относится к осмию иридиево-рутениевому. Второе микровключение округлой формы имеет размер 15 мкм, является иридием рутениево-осмиевым.

Во фрагменте золотой шайбы выявлено удлинённое зерно размером 8 × 3 мкм (Го4070). Состав золота (мас. %): Au 72, Ag 23, Cu 4. Микровключение относится к осмию иридиево-рутениевому.

### Состав и преобразования микровключений осмия

Состав микровключений из археологических памятников показан в таблицах 1–3 и на диаграммах Os–Ru–Ir–Pt. Номера точек на диаграммах соответствуют номерам микровключений в таблицах.

Фигуративные точки составов уральских микровключений (рис. 5) распределены по всему полю диаграммы, причём выделяются четыре основных тренда. Рутениевый тренд (Ru) располагается в центре диаграммы, имея субвертикальное положение от основания (Os–Ir) к рутениевой вершине. Большинство микровключений относится к рутению, а меньшая часть – к осмию. Иридиево-осмиевый тренд (Ir–Os) располагается в правой части диаграммы и ориентирован в направлении от иридиевой к осмиевой вершине параллельно основанию (Os–Ir). Все микровключения этого тренда относятся к иридию. Фигуративные точки двух охарактеризованных трендов отвечают составам минералов из месторождений платиноидов, генетически связанных с гипербазитами (Tolstikh et al., 2002; Uysal et al., 2009; Агафонов и др., 2005; Зайков и др., 2010б; Ойдул и др., 2012).

Иридиево-рутениевый тренд (Ir–Ru) в правой части диаграммы характерен для наноразмерных частиц (менее 1–3 мкм). Они распространены по периферии более крупных микровключений, в них зафиксировано уменьшение количества осмия и возрастание содержания иридия и рутения (табл. 4, рис. 6, 7). Данные по физическим и химическим свойствам осмия указывают, что изменение состава может быть вызвано окислительными процессами (Краткая..., 1964). Известен факт окисления мелко раздробленных частиц осмия при нагрева-

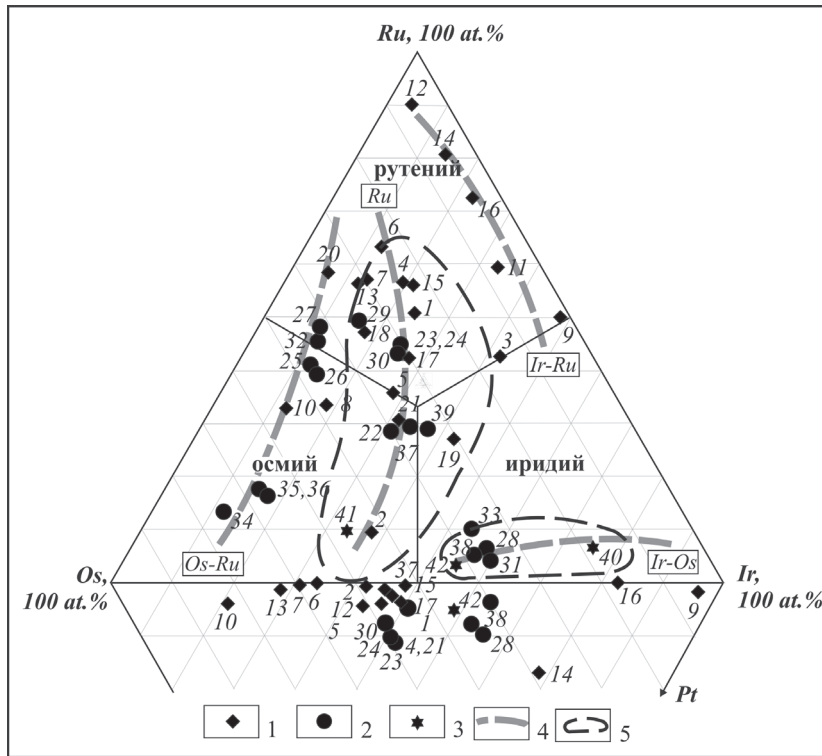


Рис. 5. Тройная диаграмма состава микровключений платиноидов из Филипповских могильников и месторождений Урала.

1 – Филипповка I, курган № 1; 2 – Филипповка I, курган № 4; 3 – Филипповка II, курган № 1; 4 – тренды составов микровключений платиноидов; 5 – поля составов фигуративных точек платиноидов из россыпных месторождений золота и платиноидов Урала.

Fig. 5. Compositions of PGM microinclusions from Filippovka burial grounds and Urals deposits.

1 – Filippovka I, burial mound № 1; 2 – Filippovka I, burial mound № 4; 3 – Filippovka II, burial mound № 1; 4 – trends of compositions of PGM microinclusions; 5 – field of data points of inclusions from gold and platinum placers of the Urals.

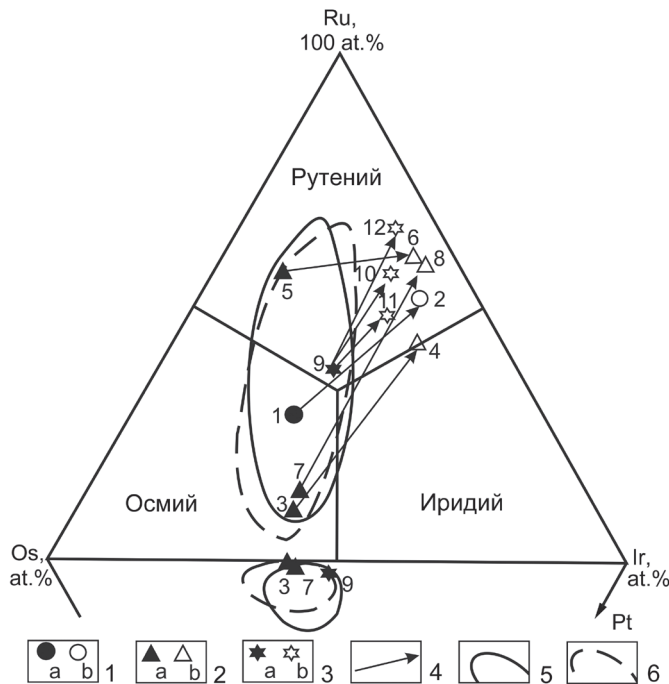


Рис. 6. Состав микровключений платиноидов в золотых изделиях на диаграмме Ru-Os-Ir-Pt.

1 – первичные (a) и вторичные (b) из могильника Кичигино I; 2 – первичные (a) и вторичные (b) из могильника Филипповка I; 3 – первичные (a) и вторичные (b) из Фанагории; 4 – траектории изменения состава; 5 – основное поле фигуративных точек составов микровключений платиноидов из древних золотых изделий; 6 – состав платиноидов из Киалимской россыпи. Номера точек соответствуют порядковым номерам анализов в таблице 4.

Fig. 6. Composition of PGM microinclusions in gold jewelry on the Ru-Os-Ir-Pt plot.

1 – primary (a) and secondary (b) inclusions from the Kichigino I grave field; 2 – primary (a) and secondary (b) inclusions from the Filippovka I grave field; 3 – primary (a) and secondary (b) inclusions from Phanagoria; 4 – trends of compositions; 5 – the main field of composition of PGM microinclusions from ancient gold jewelry; 6 – composition of PGMs from Kialim placer. Point numbers correspond to numbers of analyses in Table 4.

Таблица 4

## Состав микровключений платиноидов из археологических памятников раннего железного века

Table 4

## Composition of PGM microinclusions from archaeological monuments of Early Iron Age

№ п/п	№ образца	Предмет, памятник	Кол-во анал.	Содержания, мас. %							Формула	
				Os	Ir	Ru	Rh	Pt	Fe	Сумма		
1	Kich_5-1	Браслет, Кичигино I	1	50.23	32.27	17.50	n.d	n.d	n.d	n.d	100.00	<b>Os<sub>0,44</sub>Ir<sub>0,32</sub>Ru<sub>0,24</sub></b>
2	Kich_5-4		1	13.79	50.45	36.15	n.d	n.d	n.d	n.d	100.39	Ir <sub>0,76</sub> Ru <sub>0,23</sub> Os <sub>0,01</sub>
3	F-13-2-1		4	54.25	39.01	5.18	0.45	0.54	0.29	0.29	99.72	<b>Os<sub>0,52</sub>Ir<sub>0,37</sub>Ru<sub>0,09</sub>Fe<sub>0,01</sub>Rh<sub>0,01</sub></b>
4	F-13-2-2	Золотые нашивки, Филипповка I	4	18.38	52.09	27.72	0.79	0.00	0.78	0.78	99.76	Ru <sub>0,41</sub> Ir <sub>0,41</sub> Os <sub>0,15</sub> F <sub>0,02</sub> Rh <sub>0,01</sub>
5	F-13-3-5-1		2	41.58	15.98	39.62	0.86	0.02	n.d	n.d	98.06	<b>Ru<sub>0,56</sub>Os<sub>0,31</sub>Ir<sub>0,12</sub>Rh<sub>0,01</sub></b>
6	F-13-3-5-2		2	9.72	46.05	43.07	1.16	n.d	n.d	n.d	100.00	Ru <sub>0,59</sub> Ir <sub>0,33</sub> Os <sub>0,07</sub> Rh <sub>0,01</sub>
7	7-1-1-2	Инкрустация меча	1	51.43	39.23	7.48	0.76	0.80	0.20	0.20	99.90	<b>Os<sub>0,48</sub>Ir<sub>0,36</sub>Ru<sub>0,13</sub>Rh<sub>0,01</sub>Pt<sub>0,01</sub>Fe<sub>0,01</sub></b>
8	7-1-1-2a		1	8.48	46.97	43.45	1.10	n.d	n.d	n.d	100.00	Ru <sub>0,59</sub> Ir <sub>0,34</sub> Os <sub>0,06</sub> Rh <sub>0,01</sub>
9	138-с		3	36.82	35.36	23.05	2.00	2.00	0.27	0.27	99.50	<b>Ru<sub>0,36</sub>Os<sub>0,30</sub>Ir<sub>0,29</sub>Rh<sub>0,03</sub>Pt<sub>0,01</sub>Fe<sub>0,01</sub></b>
10	138с-3	Венок погребальный Фанатория	1	17.06	40.38	39.70	0.94	n.d	1.76	1.76	99.84	Ru <sub>0,54</sub> Ir <sub>0,29</sub> Os <sub>0,12</sub> Fe <sub>0,04</sub> Rh <sub>0,01</sub>
11	138с-5		1	20.29	46.60	31.44	0.84	n.d	0.36	0.36	99.53	Ru <sub>0,46</sub> Ir <sub>0,36</sub> Os <sub>0,16</sub> Rh <sub>0,01</sub> Fe <sub>0,01</sub>
12	138с-6		1	10.57	37.58	48.22	0.61	n.d	2.14	2.14	99.12	Ru <sub>0,62</sub> Ir <sub>0,25</sub> Os <sub>0,07</sub> Fe <sub>0,05</sub> Rh <sub>0,01</sub>

*Примечание.* Анализы сделаны на приборах: 1, 2 – JSM-6460LV (аналитик О.В. Самойлова); 3–12 – РЭММА-202М (аналитик В.А. Котляров). Принадлежность микровключений: первичные – 1, 3, 5, 7, 9 (выделены жирным шрифтом), остальные – вторичные. Формулы минералов рассчитаны на сумму металлов, равную 1. n.d. – не определено.

*Note.* Analyses were carried out on a JSM-6460LV microprobe (an. 1, 2; analyst O.V. Samoylova) and on a REMMA-202M SEM (an. 3–12, analyst V.A. Kotlyarov). Primary microinclusions are typed in bold. Formulae are recalculated to metal sum of 1. n.d. – not detected.

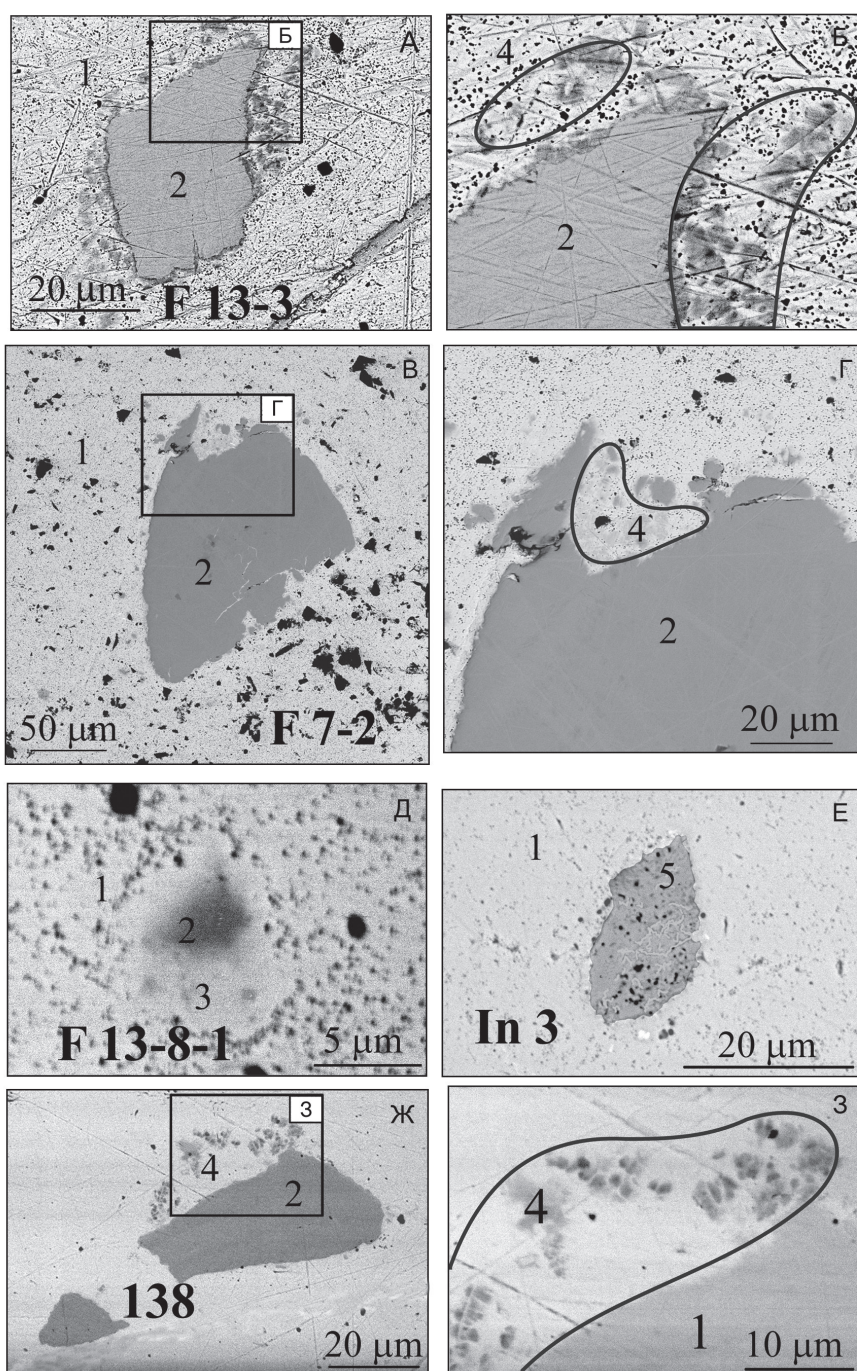


Рис. 7. Микровключения платиноидов в золотой фольге (снимки в отражённых электронах).

Цифрами обозначены: 1 – вмещающее золото; 2 – первичные микровключения осмия; 3 – промежуточная зона воздействия на первичные микровключения осмия золотого расплава; 4 – поля распространения вторичных микровключений рутения и иридия (овалы); 5 – микровключение осмия трещиноватое. Положение фрагментов снимков показано прямоугольниками, номера микровключений указаны на снимках. Место отбора проб: F13-3, F7-2, F13-8-1 – Филипповка I; In3 – Инской Дол; 138 – Фанагория.

Fig. 7. PGM microinclusions in gold foil (BSE-images):

Numbers: 1 – host gold; 2 – primary osmium microinclusions; 3 – intermediate zone of impact of gold melt on primary osmium microinclusions; 4 – fields of secondary ruthenium and iridium microinclusions (ovals); 5 – microinclusion of fractured osmium. Rectangles show details of fragments, numbers of microinclusions are indicated in Figures. Sampling places: F13-3, F7-2, F13-8-1 – Filippovka I; In3 – Inskoi Dol; 138 – Phanagoria.



нии. Реальность такого явления для исследованных случаев подтверждается наличием микропор размером 0.1–0.4 мкм, количество которых в изделиях составляет 5–10 %. При плавке золота раскалённый воздух, содержащийся в микропорах, мог вызывать окисление осмия с последующей ассимиляцией продуктов окисления расплавом. Подтверждением тому могут быть повышенные содержания осмия (2 мас. %) в золоте, вмещающем раздробленные микровключения.

Появление мельчайших частиц по периферии более крупных микровключений могло быть обусловлено двумя основными причинами: механическими деформациями зёрен осмия при изготовлении золотой фольги и растрескиванием (десквамацией) их в расплаве золота. Так как в первом случае состав микровключений оставался бы неизменным, то более реален второй вариант – растрескивание во время плавки, что сопровождалось уменьшением содержания осмия в отторгнутых частицах.

Осмиево-рутениевый тренд (Os–Ru) располагается в левой части диаграммы в направлении от Os к Ru. В него попадает существенная часть микровключений с низким содержанием иридия.

Подобное положение не характерно для платиноидов из россыпей Южного Урала и Сибири. Интересным исключением является Нижнеалабашская россыпь, в которой проявлен данный тренд

(Мурзин и др., 2015). Возможной причиной выноса иридия является термальное воздействие палеозойских гранитоидов на платиноносные гипербазиты, которые находятся в виде ксенолитов среди интрузий и гнейсов.

Фигуративные точки составов сибирских микровключений на диаграмме (рис. 8) сосредоточены вблизи рутениевого тренда: зерно ХД-15-2-2 из могильника Ханкаринский Дол тяготеет к осмиево-рутениевому тренду, а зерно Ха-15-6 – к иридиево-осмиевому. Налицо ситуация аналогичная и для уральских находок. Пока не установлены составы, принадлежащие иридиево-рутениевому тренду, но это может быть вызвано малым числом анализов сибирских проб.

Положение микровключений платиноидов относительно состава золотых изделий показано на рис. 9. Гистограммы составлены шагом 12 и 24 промилле и отражают разнообразие использованного металла. Изделия из Ханкаринского Дола и Инского Дола включают платиноиды в золоте пробностью 560 и 770 промилле. Золото Аржана соответствует диапазону 715–790 и 860–920 промилле, а платиноиды установлены в золоте из второго интервала. Золото Филипповских могильников имеет пробность 620–760 и 790–980 промилле, микровключения обнаружены в золоте обоих интервалов. Примерно такая же ситуация у золотых изделий мо-

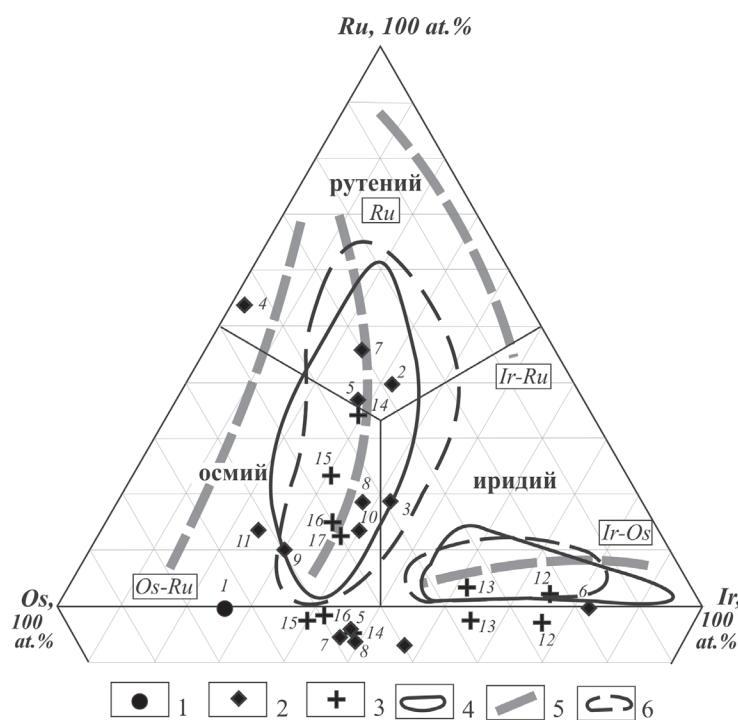


Рис. 8. Тройная диаграмма состава микровключений платиноидов из археологических памятников и месторождений Сибири.

1 – Аржан-2; 2 – могильник Ханкаринский Дол, курган № 15; 3 – могильник Инской Дол, курганы № 1 и № 2; 4 – поля составов платиноидов из месторождений золота и платиноидов Сибири; 5 – тренды составов микровключений платиноидов из Филипповских могильников Южного Урала; 6 – поля составов платиноидов из россыпных месторождений золота и платиноидов Урала.

Fig. 8. Compositions of PGM microinclusions from archaeological sites and deposits in Siberia.

1 – Arzhan-2; 2 – Hankarinskii Dol burial ground, burial mound № 15; 3 – burial ground Inskoi Dol, burial mounds № 1 and № 2; 4 – field of PGM composition of gold and platinum deposits from Siberia; 5 – trends of compositions of PGM microinclusion compositions of the Filippovka burial grounds, South Urals; 6 – field of PGM composition of gold and platinum placers of the Urals.

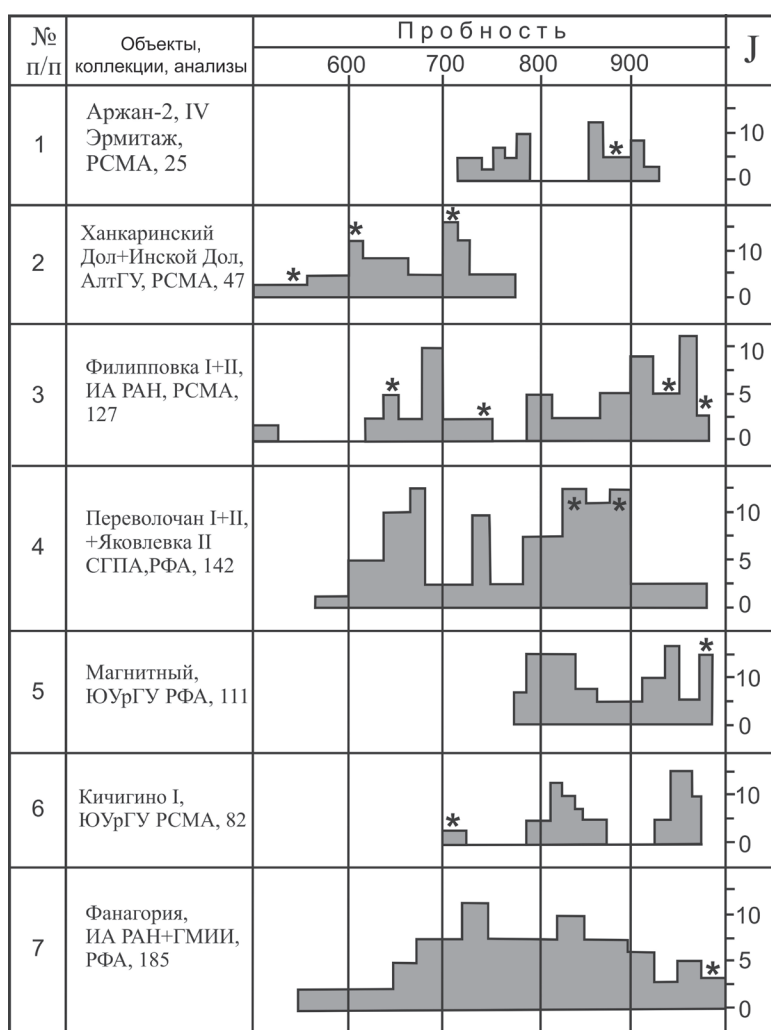


Рис. 9. Сравнительная диаграмма пробности PGM-содержащего золота из археологических памятников Сибири и Урала.

Виды анализов, на основании которых составлены гистограммы: РСМА – рентгеноспектральный, РФА – рентгенофлуоресцентный. Хронология: Ханкаринский Дол и Инской Дол, IV – начало III в. до н. э.; Филипповка I + II, V–IV вв. до н. э.; Переволочан I + II, Яковлевка II, IV в. до н. э.; Кичигино I, VII–V вв. до н. э. При построении гистограмм кроме авторских данных использованы материалы (Марсадолов и др., 2013); J – частота встречаемости. \* – положение включений платиноидов.

Fig. 9. Comparative histograms of fineness of PGM-bearing gold from archeological sites of Siberia and Urals.

Types of analyses: РСМА – microprobe, РФА – X-ray fluorescence. The age of objects: Hankarinsii Dol and Inskoy Dol, IV – the beginning of III century B.C.; Filippovka I + II, V–IV century B.C.; Perevolochan I + II, Yakovlevka II, IV century B.C.; Kichigino I, VII–IV century B.C. Histograms includes original author’s data and data of (Marsadolov et al., 2013); J – frequency of occurrence. \* – position of PGM inclusions.

гильников Переволочан I + II и одиночного кургана Яковлевка II, однако микровключения платиноидов приурочены к золоту пробностью 840–890. Для могильника Магнитного характерно более компактное распределение состава золота (770–980 промилле), причём платиноиды приурочены к высокопробному интервалу. Золото могильника Кичигино I охватывает три интервала 700–720, 790–870, 930–970. Зёрна платиноидов выявлены в золоте первого интервала. Оценивая общую картину распространения микровключений, отметим приуроченность платиноидов в могильнике Магнитном и в Фанагории к рафинированному золоту. В остальных могильниках Урала и Сибири чёткой приуроченности к золоту определённого состава не наблюдается.

**Выводы**

1. Установлено широкое развитие микровключений платиноидов в древних золотых изделиях Централь-

ной Евразии (Тува, Алтай, Туркменистан, Южный Урал, Северное Причерноморье). Источником платиноидов являются золотые россыпи, разработка которых проходила с перерывами в течение примерно 2500 лет (с бронзового века по раннее средневековье).

2. Исследованы микровключения платиноидов, выявленные в последнее время в золотых изделиях Филипповских могильников. Состав большинства зёрен соответствует платиноидам россыпных месторождений в зоне Главного Уральского разлома, связанных с гипербазитами.

3. В Сибири наиболее насыщенными микровключениями являются памятники Чинетского археологического микрорайона (могильники Ханкаринский Дол и Инской Дол). Предполагается, что источниками являются россыпи, связанные с гипербазитами Теректигского разлома.

4. Установлены следы воздействия золотого расплава на морфологию и состав микровключений. Они выражаются в появлении по периферии

крупных индивидов (первичных) ореола наноразмерных частиц (вторичных), в которых произошёл вынос осмия. Данное обстоятельство следует учитывать при сопоставлении состава микровключений с предполагаемыми россыпными источниками.

5. Присутствие микровключений платиноидов в древних золотых изделиях может служить одним из доказательств производства золотых изделий в местных ювелирных мастерских Урала и Сибири. Для подтверждения такой возможности необходимо выявить изотопно-геохимические отличия платиноидов из разных регионов.

Исследования выполнены при поддержке Минобрнауки РФ (госзадание № 33.264.2014) и гранта РФФИ (№ 15-05-00311).

### Литература

- Агафонов Л.В., Лхамсурэн Ж., Кужугет К.С., Ойдуу Ч.К.* Платиноносность ультрамафит–мафитов Монголии и Тувы. Улан-Батор: Монгольский гос. университет науки и технологий, 2005. 224 с.
- Благородные металлы в рудах и древних золотых изделиях Южного Урала / Под ред. В.В. Зайкова, В.В. Масленникова. Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2012. 232 с.
- Влияния ахеменидской культуры в Южном Приуралье (V–III вв. до н. э.) / Под ред. М.Ю. Трейстера, Л.Т. Яблонского. М.: Таус, 2012. Т. 1. 672 с. Т. 2. 468 с.
- Гусев А.И., Кукоева М.А.* Платина и платиноиды в офиолитах Салаира, Алтая и Горной Шории // Успехи современного естествознания. 2011. № 11. С. 20–23.
- Дашковский П.К., Юминов А.М.* Включения минералов платиновой группы в золотых изделиях из могильника Ханкаринский Дол (Алтай) // Вестник НГУ. Серия: История, филология. 2012. Т. 11. Вып. 7: Археология и этнография. С. 50–55.
- Зайков В.В., Зайкова Е.В., Котляров В.А.* Осмиевый след по минеральным включениям в древних золотых изделиях // Археология, этнография и антропология Евразии. 2010а. № 1 (41). С. 37–43.
- Зайков В.В., Мурзин В.В., Котляров В.А., Зайкова Е.В.* Платиноиды из Киалимской россыпи (Урал) // Геология, полезные ископаемые и проблемы геоэкологии Башкортостана, Урала и сопредельных территорий. Материалы VIII Межрегиональной научно-практической конференции. Уфа, ноябрь 2010 г. Уфа: ИГ УНЦ РАН, 2010б. С. 127–130.
- Зайков В.В., Таиров А.Д., Юминов А.М., Чурин Е.И., Котляров В.А.* Состав золотых изделий из курганов Южного Урала // Ранние кочевники Волго-Уральского региона. Оренбург: ОГПУ, 2008. С. 46–49.
- Зайков В.В., Трейстер М.Ю., Зайкова Е.В., Хворов П.В., Котляров В.А.* Состав древних золотых изделий Фанагории (в печати).
- Кобяшев Ю.С., Никандров С.Н.* Минералы Урала. Екатеринбург: Изд-во КВАДРАТ, 2007. 312 с.
- Краткая химическая энциклопедия / Под ред. Д.Н. Васкевича, Е.В. Вонского, З.И. Голдина, Н.П. Мостовенко. М.: Изд-во Советская Энциклопедия, 1964. Т. 3. 1112 с.
- Марсадолов Л.С., Хаврин С.В., Гук Д.Ю.* Проба древнего золота Казахстана и Саяно-Алтая как временной и социальный индикатор // Теория и практика археологических исследований. Барнаул: Изд-во Алтайского ун-та, 2013. № 2. С. 129–141.
- Мурзин В.В., Кисин А.Ю., Варламов Д.А.* Минералы платиновой группы из россыпи Мурзинско-Адуйского гранитогнейсового комплекса и их возможные источники // Минералогия. 2015. № 1. С. 34–48.
- Ойдуу Ч.К., Монгуш А.А., Хураган Ч.М.* Типоморфные особенности минералов платиновой группы в россыпи золота Кундус (Каахемский офиолитовый пояс Тува) // Литология и полезные ископаемые. 2012. № 5. С. 490–498.
- ПлатинOMETALЛЬНОЕ оруДЕНЕНИЕ в геологических комплексах Урала / Под ред. В.А. Коротеева, К.К. Золоева. Екатеринбург: Департамент природных ресурсов, 2001. 199 с.
- Сарианиди В.И.* Дворцово-храмовый комплекс Северного Гонура // Российская археология. 2007. № 1. С. 49–63.
- Сарианиди В.И., Дубова Н.А.* Новые гробницы на территории царского некрополя Гонура (предварительное сообщение) // На пути открытия цивилизации. Сборник статей к 80-летию В.И. Сарианиди (Труды Маргианской археологической экспедиции. Т. 3). СПб: Алетей, 2010. С. 144–171.
- Тишкин А.А., Дашковский П.К.* Результаты радиоуглеродного датирования памятников пазырыкской культуры Ханкаринский Дол и Яломан-III // Радиоуглерод в археологических и палеоэкологических исследованиях. СПб: ИИМК, 2007. С. 291–299.
- Толстых Н.Д., Кривенко А.П., Поспелова Л.Н.* Необычные соединения иридия, осмия и рутения

с селеном, теллуrom и мышьяком из россыпей р. Золотой (Западный Саян) // Записки ВМО. 1997. Ч. СХХVI. № 6. С. 23–34.

*Трейстер М.Ю., Шемаханская М.С., Яблонский Л.Т.* Комплексы с предметами ахеменидского круга могильника Филипповка-I // В кн.: Влияния ахеменидской культуры в Южном Приуралье (V–III вв. до н. э.). Т. 2. М.: Таус, 2012. С. 84–162.

*Уильямс Д., Огден Дж.* Греческое золото. Ювелирное искусство классической эпохи V–IV века до н. э. СПб: АО «Славия», 1995. 272 с.

*Чугунов К.В.* Искусство Аржана-2: стилистика, композиция, иконография, орнаментальные мотивы // Европейская сарматия. СПб: Гос. Эрмитаж, 2011. С. 39–61.

*Щербаков Ю.Г., Рослякова Н.В.* Состав золотых изделий, источники металлов и способы их обработки // Феномен Алтайской мумии. Новосибирск: Изд-во ИАиЭ СО РАН, 2000. С. 179–187.

*Юминов А.М., Дубова Н.А.* Результаты микрозондового анализа золотых изделий из Гонур Депе // Труды Маргианской археологической экспедиции. Т. 4. Исследование Гонур Депе в 2011–2013 гг. М.: Старый сад, 2014. С. 197–203.

*Юминов А.М., Зайков В.В., Таиров А.Д., Зданович Д.Г.* Включения осмия в древних золотых изделиях на Южном Урале // Труды XII Российской конференции «Строение и свойства металлических и шлаковых расплавов». Т. 3. Экспериментальное изучение шлаковых расплавов; взаимодействие металл–шлак. Екатеринбург: УрО РАН, 2008. С. 175–176.

*Яблонский Л.Т.* Курган-святилище могильника Филипповка 2, роль и место животных в погребальном обряде // Археология восточно-европейских степей. Вып. 10. Саратов: СГУ, 2013а. С. 305–311.

*Яблонский Л.Т.* Золото сарматских вождей. Элитный некрополь Филипповка 1 (по материалам раскопок 2004–2009 гг.). Каталог коллекции. Книга 1. М.: ИА РАН, 2013б. 231 с.

*Craddock P.T.* The platinum group element inclusion // King Croesus' Gold. London: British Museum Press, 2000. P. 238–244.

*Harris D., Cabri L.* Nomenclature of platinum-group-element alloys: review and revision // Canadian Mineralogist. 1991. V. 29. P. 231–237.

*Meeks N.D.* Scanning Electron Microscopy of the Refractory Remains and the Gold // In: King Croesus' Gold: Excavations at Sardis and the History of Gold Refining (Archaeological Exploration of Sardis, 11). London: Cambridge, MA, 2000. P. 99–156.

*Meeks N.D., Tite M.S.* The analysis of platinum-group element inclusion in gold antiquities // Journal of Archaeological Science. 1980. V. 7.3. P. 267–275.

*Ogden J.M.* The so-called platinum inclusion in Egyptian goldwork // Journal of Egyptian Archaeology. 1976. V. 62. P. 138–144.

*Ogden J.M.* Platinum group inclusions in ancient gold artifacts // Journal of the Historical Metallurgical Society. 1977. V. 11.2. P. 53–72.

*Shemakhanskaya M., Treister M., Yablonsky L.* The technique of gold inlaid decoration in the 5th–4th centuries BC: silver and iron finds from the earlier Sarmatian barrows of Filippovka, Southern Urals // ArchaeoScience. Rennes: Universitires de Rennes, 2009. № 33. P. 211–220.

*Tolstykh N., Krivenko A., Sidorov E., Laajoki K., Podlipsky M.* Ore mineralogy of PGM placers in Siberia and the Russian Far East // Ore Geology Reviews. 2002. V. 20. P. 1–25.

*Uysal I., Tarkian M., Sadiklar M., Zaccarini F., Meisel T., Garuti G., Heidrich S.* Petrology of Al- and Cr-rich ophiolitic chromitites from the Muğla, SW Turkey: implications from composition of chromite, solid inclusions of platinum-group mineral, silicate, and base-metal mineral, and Os-isotope geochemistry // Contributions to Mineralogy and Petrology. 2009. V. 158. Issue 5. P. 659–674.

*Whitmore F.E., Young W.J.* Application of the laser microprobe and electron microprobe in the analysis of platinum group inclusions in gold // In: Application of Science in Examination of Art. Boston, 1973. P. 88–95.

*Young W.J.* The fabulous gold of the Pactolus Valley // Bulletin of Boston Museum of Fine Arts. 1972. P. 5–13.

*Zaykov V.V., Yuminov A.M., Tairov A.D., Zdanovich D.G., Churin Eu.I., Kotlyarov V.A., Zaykova E.V.* The composition of gold and silver objects from the South Urals burial mounds // Geoarchaeology and archaeomineralogy. Sofia: Publishing House «St. Ivan Rilski», 2008. P. 239–243.

*Поступила в редакцию 12 сентября 2014 г.*