

НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ ПЛАТИНОИДОВ В ЧЕРНОСЛАНЦЕВЫХ КОМПЛЕКСАХ ТИМСКОГО ТИПА (КМА)

Чл. корр. РАН Н. М. Чернышов, Ак. РАН В. Г. Моисеенко*, В. В. Абрамов

Воронежский государственный университет

** АРО ООО РМО, г. Благовещенск Амурской области*

В качестве одного из высокоперспективных нетрадиционных источников благородных металлов в XXI столетии выступают высокоуглеродистые стратифицированные образования, имеющие глобальное распространение. В пределах Воронежского кристаллического массива наиболее перспективными являются черносланцевые толщи оскольской серии (тимской тип оруденения). В результате проведенных исследований в углеродистых сланцах нижнетимской подсвиты впервые обнаружены рутениридосмин, рутеносмирид, сперрилит и ирарсит. Существенно расширен список рудных минералов золото-платинометалльного оруденения тимского типа, что имеет решающее значение при разработке комплексного подхода к проблеме технологии извлечения благородных металлов из черных сланцев КМА.

1. ВВЕДЕНИЕ

Как известно, главными источниками платинодобычи в России в настоящее время являются комплексные сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения, запасы которых в известной степени ограничены. В тоже время, на фоне постоянного увеличения потребления металлов платиновой группы (МПГ) в связи с расширением сферы их использования различными отраслями промышленности возникает необходимость поиска новых, нетрадиционных источников стратегически важных металлов. Металлоносные черные сланцы, концентрирующие значительные количества ряда благородных, цветных и редких металлов, благодаря своей исключительной распространенности, значительной протяженности, многоуровневому стратифицированному характеру размещения в геологических разрезах Земли выступают в качестве глобального источника прироста ресурсов и запасов благородных металлов в XXI столетии.

В ряде регионов Российской Федерации в черносланцевых комплексах обнаружены крупные месторождения благородных и сопутствующих им металлов (онежская группа месторождений, Мурнтау, Сухой Лог, и др.) [1, 2]. К их числу в пределах Воронежского кристаллического массива (ВКМ) относится ряд разномасштабных рудопроявлений и потенциально рудоносных объектов, связанных с докембрийскими высокоуглеродистыми стратифицированными комплексами и их метасоматитами [2].

Наиболее важные в промышленном отношении концентрации благородных металлов (Pt до 0,72; Pd до 0,61 г/т; Au до 2,2 г/т) связаны с высокоуглеродистыми терригенно-осадочными породными ассоциациями нижнетимской подсвиты оскольской серии [2, 3], развитые в достаточно протяженной (110 × 30 км), пространственно сопряженной с позднеархейским зеленокаменным поясом, рифтогенной Тим-Ястребовской структуре (рис. 1) [4, 5].

Рудовмещающая нижняя толща нижнетимской подсвиты, мощностью около 1500 м, сложена неоднократно повторяющимися в разрезе, метаморфизованными в условиях гранатовой субфации зеленосланцевой фации [6], пачками высокоуглеродистых и углеродистых сланцев, малоуглеродистых и углеродистых метапесчаников, мраморизованных известняков, амфибол-гранатовых пород и др. В верхней толще подсвиты существенно возрастает роль метаэффузивов основного, реже ультраосновного состава.

Рудоносные черные сланцы характеризуются [2, 3, 7, 8]: а) разнообразным минеральным составом, изучение которого позволило выделить большое количество петрографических, структурно-текстурно неоднородных, разновидностей пород; б) присутствием углеродистого вещества, содержание которого (Сорг) на некоторых горизонтах достигает 16-18 мас. % и широким развитием сульфидов; г) мелкозернистым (0,1 — 0,2 мм) сложением основной массы пород; д) развитием наложенных постметаморфических процессов, которые проявляются в окварцевании, турмалинизации и наличии прожилков карбонатного состава.

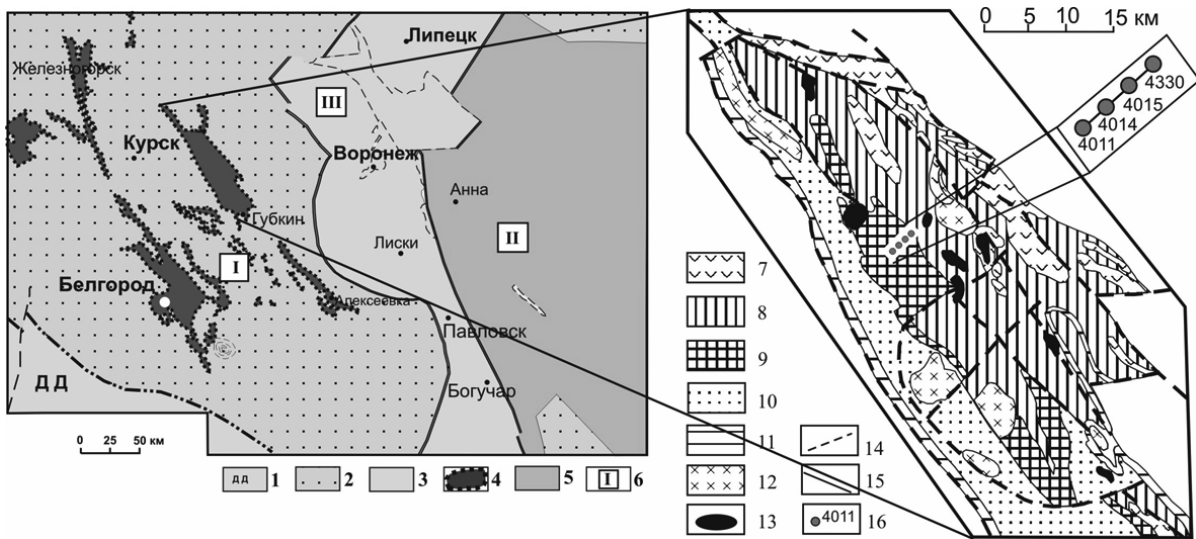


Рис. 1. Схема размещения тимского типа золото-платинометалльного оруденения в пределах ВКМ и Тим-Ястребовской рифтогенной структуры [3]: 1 — Границы ВКМ и прилегающие геологические структуры: ДД — Днепровско-Донецкий авлакоген; 2 — СВК архейского основания; 3 — СВК Лосевской шовной зоны; 4–5 — раннепротерозойские вулканогенно-терригенные комплексы этапа рифтогенеза (4); этапа эпикратонного прогибания пассивной континентальной окраины (5); 6 — мегаблоки ВКМ: I — КМА, II — Хоперский (Воронежский), III — Лосевская шовная зона; 7–11 — стратифицированные образования: 7 — метаэффузивы основного и ультраосновного состава верхнетимской подсвиты; 8–9 — породы тимской свиты (8 — метаэффузивы кислого и среднего состава в переслаивании с метаосадочными породами, 9 — сланцы углеродисто-кварцевые, сульфидизированные); 10 — доломиты, мрамора, амфибол-карбонатные породы, биотит-полевошпатовые сланцы роговской свиты; 11 — железистые кварциты, биотит-кварцевые сланцы курской железорудной серии; 12–13 — раннепротерозойские интрузивные образования стойло-николаевского комплекса (12 — гранодиориты, кварцевые диориты, 13 — габбро, габбродиориты, субвулканические диабазовые порфириты); 14 — разрывные нарушения; 15 — геологические границы; 16 — скважины и их номера.

Золото-платинометалльное оруденение тимского типа характеризуется сложным полиминеральным, многокомпонентным составом и многообразием форм концентрирования благородных металлов. В составе оруденения установлено около 60 минералов, в том числе более 20 собственных минеральных фаз платиноидов [2, 10]. Значительные количества этих металлов находятся в свободной форме, в виде твердых металлических растворов и интерметаллидов, в виде примесей в сульфидах и других рудных минералах. Наиболее характерными особенностями золото-платинометалльного оруденения тимского типа являются: а) ведущая (90-95 об.%) роль в рудном парагенезисе сульфидов при крайне неравномерном их распределении и текстурно-структурной неоднородности (послойная мелкозернистая вкрапленность, прожилковые, пятнистые, линзовидные и гнездовые обособления); б) резкое преобладание среди сульфидов пирита и пирротина (до 80-95% объема рудного вещества), которые характеризуются значительным кристалломорфологическим разнообразием и существен-

ными вариациями содержаний главных (Fe, S) и сопутствующих (Ni, Co, Cu), а так же некоторых благородных элементов (Pt, Pd, Au); в) постоянное присутствие халькопирита (1-2%, иногда до 10-15%), сфалерита (0,7-2 %, редко до 8 %), пентландита (пламевидные вроски в пирротине), марказита, арсенопирита, молибденита, ульманита, блеклой руды, виоларита, галенита, гетита (от 0,5 до 10 %), макинавита, буланжерита, клаусталита, теллуриовисмутита, станнина, рутила, циркона, монацита, шеелита, бадделиита и широкого спектра собственных минеральных фаз ЭПГ, Au и Ag. Среди минералов МПГ, выделенных из концентратов тяжелой фракции рудоносных горизонтов, установлены: самородный палладий и платина, Au-Pt-палладий, ряд минералов не имеющих пока собственных названий — селенид палладия и платины (Pd, Pt)₃Se₂, станнид палладия (PdSn₂) и более сложных соединений (сплавов) Pt, Pd, Au, Ag и Zn в ассоциации с титанатами Ba, Ca, Bi, а также самородные золото и серебро, осмистый иридий, тестибиопалладит, амальгама золота, серебра [2, 3, 9, 10].

В ходе совместных тематических работ 2004–2006 гг. по определению критериев прогнозирования комплексных платиновых руд в железистых кварцитах и черных сланцах Центрального и Уральского регионов (Государственный контракт № АТ-03-28/818 МПР РФ) были проведены исследования в лаборатории АмурКНИИ ДВО РАН под руководством академика РАН В.Г. Моисеенко. В двух крупнообъемных пробах с повышенными содержаниями благородных металлов (табл. 1.) были установлены новые минералы металлов платиновой группы в высокоуглеродистых сланцах нижнетимской подсвиты.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Методика технологической обработки проб включала шадящее дробление проб на щековой лабораторной дробилке с максимально открытой щелью без истирания исследуемого материала. Издробленные пробы по общепринятой методике разделялись на две части, из которых одна истиралась до пудры и после повторной квартовки анализировалась классическими методами определения валового исходного состава проб и содержания в них благородных элементов, а вторая поступала на лабораторный сепаратор «Кнельсон» для получения концентрата и дальнейших исследований форм нахождения МПГ.

Полученные концентраты высушивались при температуре не более 80°C и анализировались минералогическим и спектральным анализами. Навеска весом 5 г изучалась на растровом электронном

микроскопе LEO-1420, интегрированным энергодисперсионным спектрометром RONTEC и JSM-35C (JEOL), и рентгеноструктурной установке УРС-2. Отдельные зёрна монтировались в шашки и подвергались микрозондовым исследованиям.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Изучение форм нахождения благородных металлов в высокоуглеродистых сланцах тимского типа проводилось в двух крупнообъемных пробах (весом по 15 кг), составленных из керна скважин №№ 4011 и 4014 с интервалов 459,0–477,0 м и 314,0–357,0 м соответственно. Главными критериями отбора материала для исследований были: а) повышенное содержание углеродистого вещества и сульфидов в сланцах нижнетимской подсвиты; б) повышенные содержания МПГ и Au, установленные для некоторых проб изученных интервалов на предыдущих этапах работы. В результате аналитических исследований в пробах выявлены повышенные содержания платиноидов и золота (табл.). В пробе из скв. № 4011 установлены новые минералы платиноидов и самородное золото, а в пробе 4014/314,0–357,0 м выделены тонкодисперсные образцы высокопробной платины.

Среди обнаруженных минеральных фаз платиноидов в пробе 4011/459,0–477,0 м преобладают преимущественно Os-Ir-Ru минералы с различными вариациями содержания элементов: Os (18,58–45,56 мас. %), Ir (20,91–51,05 мас. %), Ru (11,65–48,27 мас. %). Размеры их достигают 400–550 мкм.

Таблица

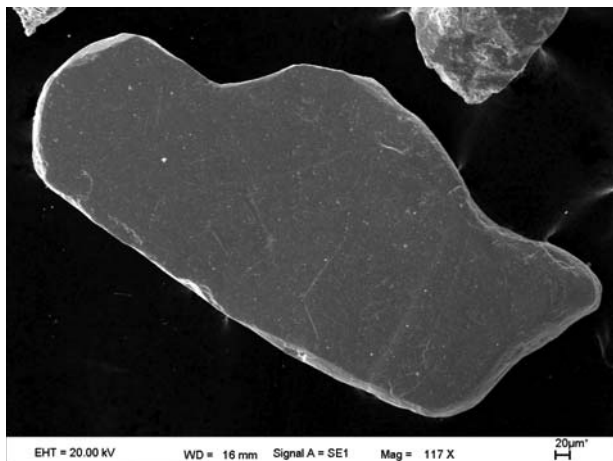
Содержания элементов платиновой группы и золота в изученных пробах высокоуглеродистых сланцев Луневско-Введенского участка КМА

Элементы	4011/459,0–477,0 м	4014/314,0–357,0 м
Pt	0,30	0,54
Rh	0,25	0,50
Ir	0,90	1,00
Pd	0,10	0,05
Au	0,9	1,15
Сумма МПГ+Au	2,45	3,24

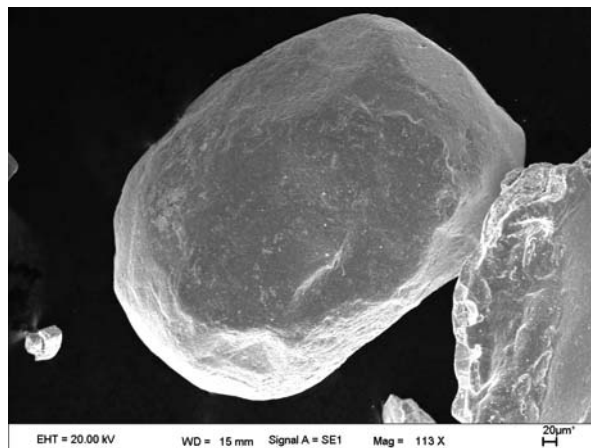
В различных по составу минеральных видах они характеризуются специфическими морфологическими особенностями. Наиболее часто встречаются разновидности с преобладанием осмия и иридия — рутениридосмины и рутеносмириды. По морфологическим признакам зерна рутениридосминов чаще всего имеют уплощенные формы (рис. 2а), а при увеличении содержания осмия до 33–

44 % кристаллические зерна приобретают более объемные очертания (рис. 2б).

С увеличением содержания иридия до 42,6 % минералы приобретают более выраженную кристаллическую гексагональную огранку (рис. 3а), а при дальнейшем росте (Ir до 51–52 %) — гексагональные очертания не просматриваются и зерна принимают неправильную форму (рис. 3б).

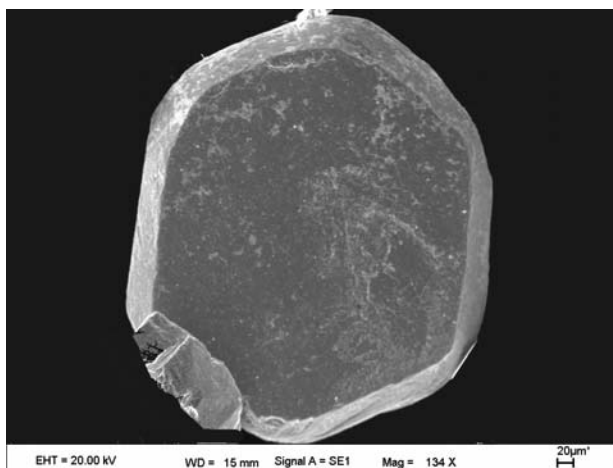


а

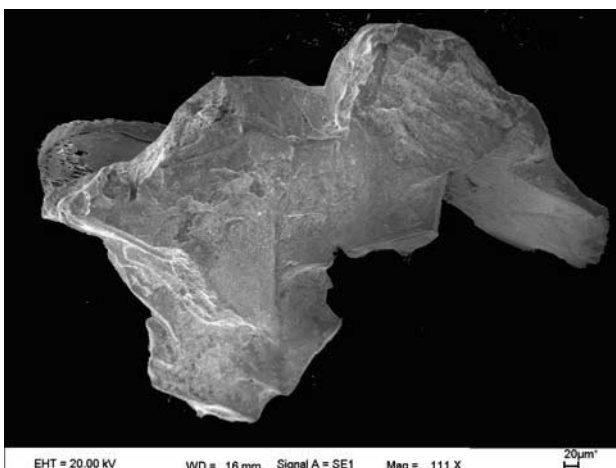


б

Рис. 2. Морфология Ru-Os-Ir минералов: а) уплощенные агрегаты; б) более объемные минералы



а



б

Рис. 3. Рутеносмириды с гексагональной огранкой (а) и сложной морфологией (б)

В образце рутеносмирида, представленного на рисунке 3б, была выявлена фазовая неоднородность в виде включения второй фазы, характеризующаяся элементарным составом, отвечающим ириарситу.

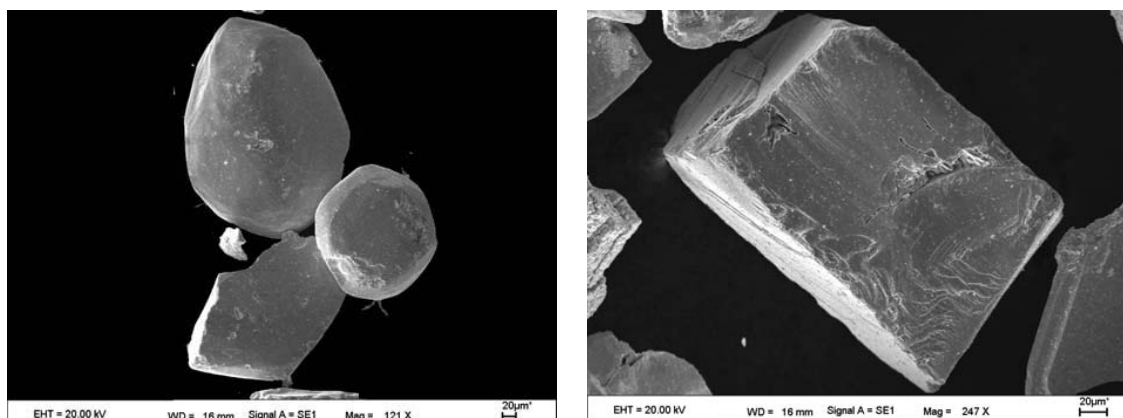
Кроме минералов Ru-Os-Ir ряда были обнаружены зерна сперрилита, имеющего сглаженные округлые формы и таблитчатые кристаллы (рис. 4). Сперрилит характеризуется постоянством состава (Pt 56,0–56,4 мас. %, As 42,0–44,7 мас. %, Fe до 0,7 мас. %, Ni до 0,3 мас. %).

Несмотря на повышенное содержание платины, установленное химическим анализом, в пробе 4014/314,0-357,0 м минеральных зерен платины и платиново-железистых разновидностей выявить не удалось. Ряд проб были подвергнуты низкотемпературному плавлению с введением катализаторов, позволяющих концентрировать и выделять платину. В результате были получены тонкодис-

персные рыхлые платиносодержащие образцы, морфология и микроструктура которых представлена на рис 5.

Полученные агрегаты представляют собой тонкодисперсные образования с размерами частиц менее микрометра, сросшиеся между собой и образующие кристаллизационно-конденсационную структуру твердения. По составу полученные частицы представляют собой высокопробную платину с примесью железа до 0,74 мас.%. На поверхности исходных образцов встречаются частицы, имеющие сложный состав, включающий в себя серебро и редкоземельные элементы (рис. 6а).

Морфология и микроструктура самородного золота, обнаруженного в пробе 4011/459,0-477,0 м, были изучены методами растровой электронной микроскопии высокого разрешения. Определение элементного состава проведено рентгеноспектральными методами с применением растровых



а

б

Рис. 4. Округлые (а) и таблитчатые (б) формы выделения сперритов из высокоуглеродистых сланцев тимского типа

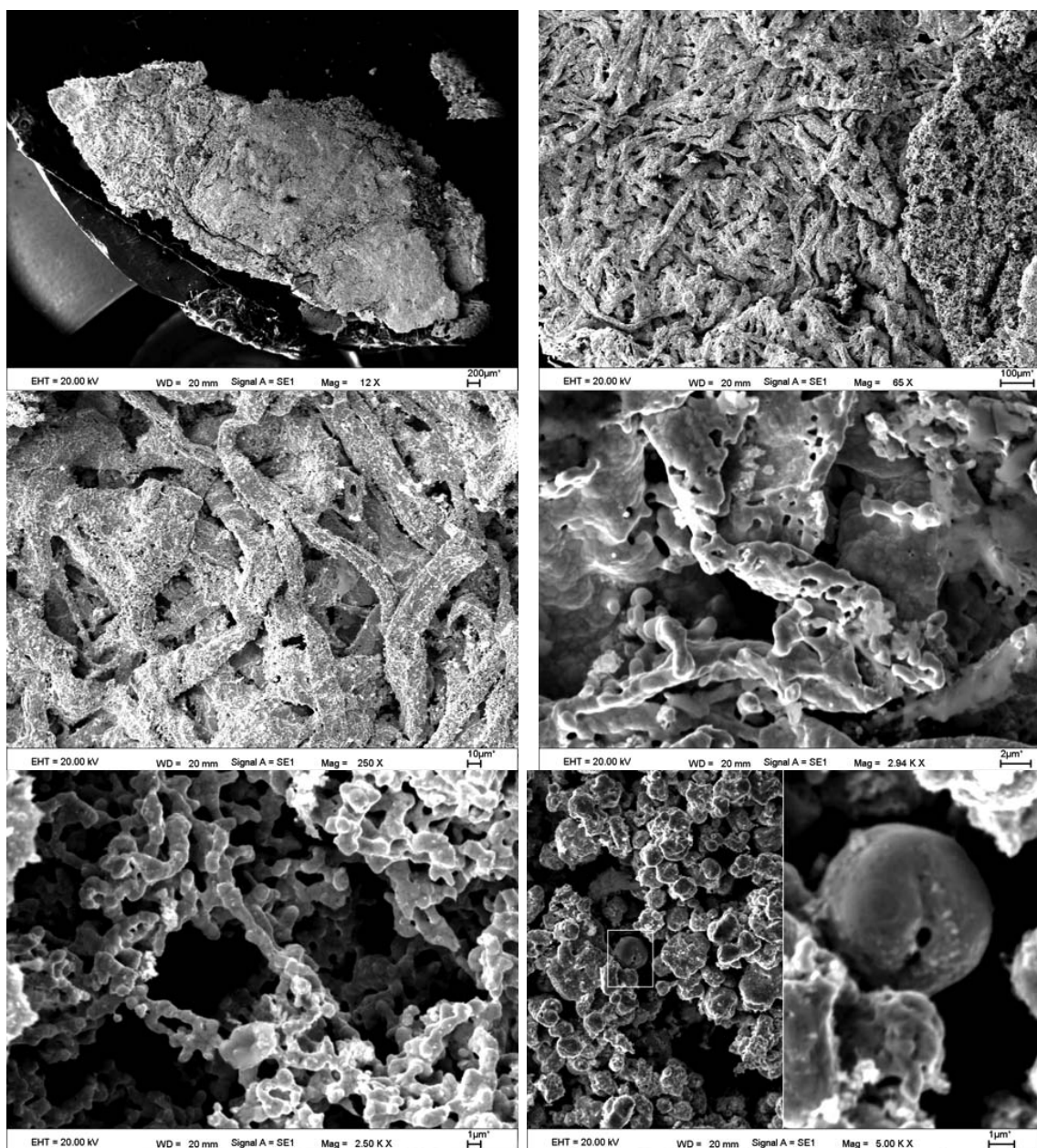


Рис. 5. Морфология и микроструктура тонкодисперсной высокопробной платины

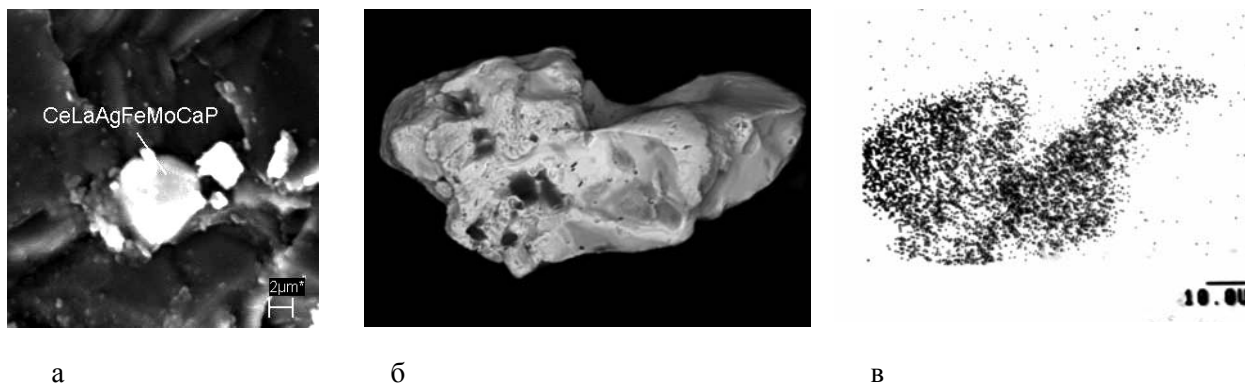


Рис. 6. Морфология и микроструктура самородного золота.

электронных микроскопов. Съемка проведена в режимах вторичных электронов и в режиме обратнорассеянных электронов. Для качественного подтверждения элементного состава использованы картины распределения элементов по площади и по линии сканирования в характеристических рентгеновских лучах по Au $M\alpha$ и Ag $L\alpha_1$ (рис. 6б, 6в). Образцы представляют собой ксеноморфные зерна размером 20×50 мкм. На поверхности плотных по структуре агрегатов имеются зоны с отпечатками вмещающих пород и с включениями фазы, содержащей кремний призматической формы.

По составу обнаруженные образцы представляют собой высоко серебристый твердый раствор Au-Ag. Поскольку сканирование проводилось по поверхности топографически не ровной, рентгеновские профили являются качественным подтверждением элементного состава без количественных привязок интенсивности.

Кроме того, были обнаружены ксеноморфные, уплощенные, неравномерные по плотности зерна золота с более рыхлой микроструктурой (рис. 7 а), являющиеся поликристаллическими сростками тонкодисперсных частиц, относящиеся по элемен-

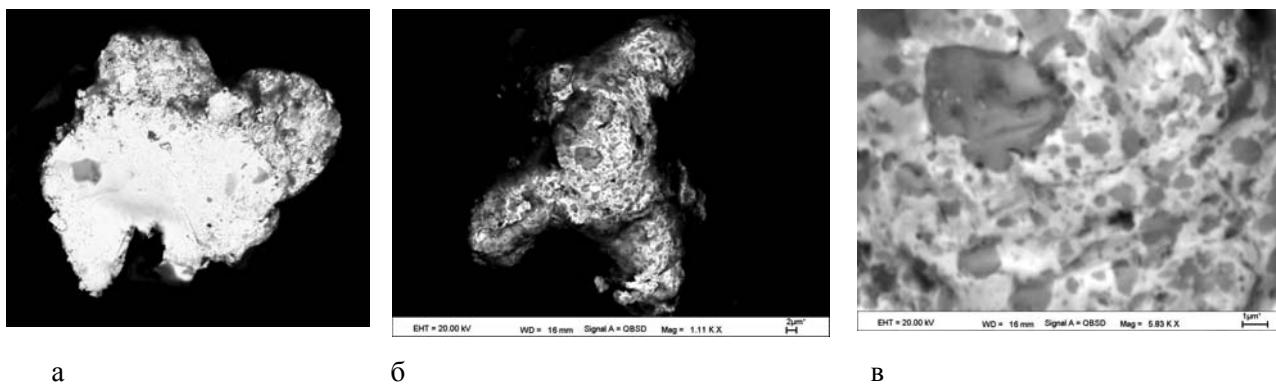


Рис. 7. Структура и формы выделения неравномерных по плотности зерен самородного золота (а) и Sn-Cu-содержащих образцов (б, в)

тному составу также к Au-Ag твердым растворам на основе золота.

Кроме золотосодержащих зерен в данном образце установлены зерна, содержащие Sn и Cu с большим количеством включений легкой фазы сульфидов железа (рис. 7 б-в).

ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований в золото-платиноносных высокоуглеродистых сланцах тимского типа оруденения обнаружены рутенири-

досмин, рутеносмирид, сперрилит, ирарсит и самородное золото с примесью серебра. С применением специальной методики СВЧ-нагрева с использованием катализаторов получены образцы высокопробной платины. Существенно расширен список минералов благородных металлов, установленных в черных сланцах оскольской серии КМА, что имеет важнейшее практическое значение при выборе новых экологически безопасных технологий концентрирования металлов платиновой группы и золота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурская Л.И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования / Л. И. Гурская. — СПб. : ВСЕГЕИ, 2000. — 208 с.
2. Чернышов Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) : монография / Н. М. Чернышов ; Воронеж. гос. ун-т. — Воронеж : Изд-во Воронеж. ун-та, 2004. — 448 с.
3. Чернышов Н.М. Новый тип золото-платинометалльного оруденения в стратифицированных черносланцевых комплексах ВКМ (закономерности размещения, минералого-геохимические особенности и геолого-генетическая модель формирования) / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. — 1996. — № 1. — С. 114–132
4. Холин В.М. О геодинамике формирования и развития Тим-Ястребовской структуры (КМА) / В. М. Холин, И. П. Лебедев, Ю. Н. Стрик // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. Геологическая. — 1998. — № 5. — С. 51–58.
5. Чернышов Н.М. Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии / Н. М. Чернышов, В. М. Ненахов, И. П. Лебедев, Ю. Н. Стрик // Геотектоника. — 1997. — № 3. — С. 21–30.
6. Полякова Т.Н. Зеленосланцевая фация метаморфизма метапелитов Тим-Ястребовской структуры / Т. Н. Полякова, В. Ю. Скрябин // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — 2002. — № 1. — С. 103–120.
7. Абрамов В.В. Петрография и особенности минерального состава пород рудных зон центральной части Тим-Ястребовской структуры (Воронежский кристаллический массив, Центральная Россия) / В. В. Абрамов // Металлогения древних и современных океанов—2004. Достижения на рубеже веков. Т. 1. — Миасс : ИМин УрО РАН, 2004. — С. 131–134.
8. Абрамов В.В. Роль углеродистого вещества в черносланцевых породах центральной части Тим-Ястребовской структуры ВКМ в концентрации благородных металлов / В. В. Абрамов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология — 2006. — Вып. 1. — С. 101–107.
9. Чернышов Н.М. Благороднометалльносодержащие парагенезисы сульфидов и их аналогов в железорудных месторождениях КМА (Центральная Россия) / Н.М. Чернышов // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. Геология — 2007. — Вып. 1. — С. 101–114.
10. Рудашевский Н.С. Минералы платиновой группы из черных сланцев КМА / Н. С. Рудашевский, В. В. Кнауф, Н. М. Чернышов // Докл. РАН. — 1995. — Т. 334, № 1. — С. 91–95.