

**МИНЕРАЛОГИЯ БЛАГОРОДНЫХ МЕТАЛЛОВ В ЖЕЛЕЗИСТЫХ
КВАРЦИТАХ И ЧЕРНЫХ СЛАНЦАХ ЗОЛОТО-
ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОЙ РУДООБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЫ КМА
(ЦЕНТРАЛЬНАЯ РОССИЯ)**

Член-корр. РАН Н. М. Чернышов

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 15 сентября 2012 г.

Аннотация. *Приведены новые данные по минералогии благородных металлов и их парагенезисам в двух пространственно разобщённых и разных по составу вмещающих их железистых кварцитах и черных сланцах рудных районов. Подтверждён многостадийный характер формирования благороднометалльных типов руд; установлены определённые черты сходства минералогии благородных металлов и принадлежность различных типов оруденения в железистых кварцитах, сланцах и метасоматитах к единой длительно развивавшейся рудообразующей системе. Представлена обобщённая модель формирования рудообразующей системы в условиях многообразия источников вещества. Приведены краткие сведения о ресурсах ЭПГ.*

Ключевые слова: *благородные металлы, минералогия, железные руды, углеродистые сланцы, типы оруденения, рудообразующие системы, ресурсы.*

Abstract. *New data on the mineralogy of noble metals and their parageneses in two spatially separated and different in composition of enclosing ferruginous quartzites and black shales ore districts are presented. A multi-stage character of the formation of noble-metal types of ores is confirmed; certain similarities between the mineralogy of noble metals and the belonging of different types of mineralization in the ferruginous quartzites, shales and metasomatites to a single long developing ore-forming system is established. The generalized model of the formation of a variety of sources of material is given. Brief information about the PGE resources is presented.*

Key words: *noble metals, mineralogy, iron ores, carbonaceous shales, types of mineralization, ore-forming systems*

**1.1. Краткие сведения о геодинамике,
структуре и минерагении КМА**

Многообразие сфер использования и последовательное возрастание потребления платиноидов и золота, характеризующихся, вместе с тем, крайне низким содержанием в земной коре (Pt – 5 мг/т, Pd – 13 мг/т, Ir – 1 мг/т, Os – 50 мг/т, Ru – 1 мг/т, Rh – 5 мг/т, Au – 5 мг/т), настоятельно требуют поисков новых нетрадиционных источников благородных металлов. Среди таких источников особое значение приобретают уникальные по ресурсам и глобальные по степени распространения стратифицированные углеродистые толщи и железистые кварциты раннего палеопротерозоя, которые являются основными компонентами железисто-кремнисто-сланцевой формации древних платформ и щитов всех континентов мира [6].

Железистые кварциты и сланцы с золото-платинометалльной минерализацией установлены в

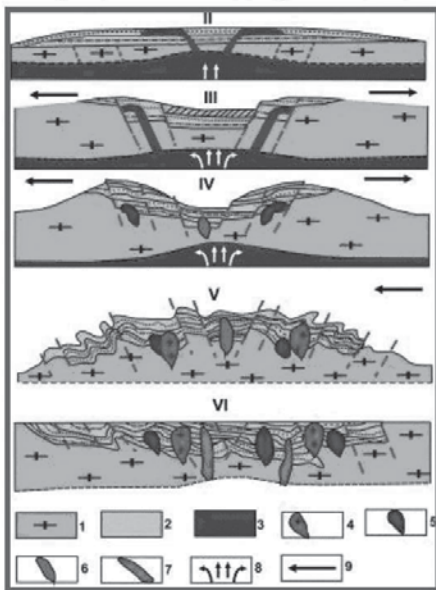
составе всех структурно-вещественных комплексов (СВК) мезо- и неоархейских зеленокаменных поясов КМА и пространственно совмещённых с ними сложных по своей геодинамической природе и составу палеопротерозойских структур, определяя, тем самым, высокий золото-платиноносный потенциал ВКМ – этого крупного (600 × 1000 км) сегмента Восточно-Европейской платформы [16].

Наиболее высокие концентрации благородных металлов сосредоточены в пределах железорудных районов КМА. В формировании литосферы структуры КМА в раннем протерозое отчетливо выделяется четыре этапа – протоплатформенный, континентальный рифтогенез с рядом стадий, коллизионный и заключительный раннеплатформенный (рис. 1), каждый из которых отличается составом СВК и ассоциирующим с ним золото-платинометалльным оруденением.

При всём многообразии типов рудообразующих систем (см. рис. 1), возникающих при различных геодинамических обстановках становления

Структура КМА

Геодинамические этапы формирования раннепротерозойской структуры КМА



Тип геодинамического режима	Структурно-вещественные комплексы	Рудообразующие системы
Протоплатформенный	Курская железорудная серия, роговская и белгородская свиты оскольской серии	1) Золото-платино-ураноносная кварцевых конгломератов; 2) золото-платиноносная железисто-кремнисто-сланцевая; 3) платиноидно-золото-рудная; 4) золото-кварц-сульфидная (платиноносная); 5) золото-содержащая кор выветривания железистых кварцитов сланцев
Континентальный рифтогенез (II - IV) а) предрифтовая стадия б) собственно рифтовая	а) базальтоиды нормальной щелочности; б) ранняя стадия - молассоидные отложения, высокотитанистые габброиды; поздняя стадия - породные ассоциации кремнисто-карбонатно-терригенных фаций, ограниченно - базальтоиды, пикриты; ультрамафит-мафитовые интрузии (золотухинский тип)	1) Золотоносных россыпей; 2) полигенная золото-платиноносная в сланцах; 3) титан-ванадиевая
Коллизионный (V)	Стойло-николаевский габбродиорит-гранитный (2085±5 млн. лет), шебекинский сиенитовый (2066±14 млн. лет), малинский гранитный; андезиты глазуновской свиты	1) Золото-сульфидно-кварцевая (платиноносная) и галенит-сфалеритовая; 2) грейзеновая касситерит-силикатная; 3) редкоземельная уран-ториевая; 4) полиметаллическая; 5) редкометалльная (в сподуменовых пегматитах); 6) золото-платиноносная колчеданная в метасоматитах; 7) золото-платиноносная в стратифицированных толщах (глазуновская свита)
Раннеплатформенный (VI)	Трапповая формация (смородиновый комплекс; 2060±10 млн. лет); щелочные субультрамафитовы с карбонатами (дубравинский комплекс)	1) Платиноносная титаномагнетитовая с ванадием; 2) малосульфидная платиноносная; 3) сульфидная платиноидно-медно-никелевая; 4) апатит-магнетитовая платиноносная в карбонатах и др.

Рис. 1. Геодинамика и минерогения раннепротерозойского этапа (по [10], с дополнениями): 1 – протокора серогнейсового состава; 2 – ассоциация пород стадии рифтогенеза; 3 – подкорковый слой верхней мантии; 4 – коллизионные гранитоиды; 5 – базальты повышенной щелочности; 6 – базальтоиды нормальной щелочности; 7 – траппы; 8 – векторы тепломассопереноса; 9 – векторы тектонического напряжения

структуры КМА, наибольший промышленный интерес представляет золото-платинометалльное оруденение, ассоциирующее с железистыми кварцитами, межрудными сланцами курской серии и, прежде всего, с углеродистыми сланцами и метасоматитами оскольской серии [16, 20]. В современном варианте они представляют собой сложные дискордантные интракратонные складчато-глыбовые структуры, пространственно совмещённые с неогаргейскими коматиитсодержащими зеленокаменными поясами [16].

Характерными особенностями золото-платиноносных структурно-формационных зон, наиболее полно проявившихся в железорудных районах мегаблока КМА, являются [1, 3, 4, 8, 11, 16, 18, 20, 21]: а) полицикличность и многостадийность развития с резким преобладанием терригенно-осадочных (в том числе мощных железорудных) отложений на ранних стадиях (курская серия) и возрастающей ролью углеродистых вулканогенно-осадочных и вулканических образований (оскольская серия) на поздних стадиях их формирования; б) широкое развитие в разной мере дифференцированных вулканоплутонических ассоциаций с пикрит-толеит-базальтовыми и базальт-

андезит-дацитовыми вулканитами (оскольская серия) и магматитами ультрамафит-мафитового, габбро-диорит-гранодиоритового и гранитоидного составов с отчетливой металлогенической специализацией на Cu, Pb, Zn, Au, Ag, металлы платиновой группы (ЭПГ), Р, В, редкие земли; в) высокая степень интенсивности проявления складчатости и взбросо-надвиговых перемещений, сложный структурный рисунок разломных нарушений различных порядков с образованием зон объемного катаклаза, выступающих в качестве контролирующих элементов рудообразующих систем; г) низкоградиентный тип метаморфизма в условиях эпидот-амфиболитовой и в большей мере зеленосланцевой фаций, способствующий перераспределению и накоплению рудного вещества в железистых кварцитах и межрудных сланцах курской серии (курсский и старооскольский типы); углеродистых осадочных и вулканогенно-осадочных образованиях оскольской серии и их метасоматитах (тимской и кшенский типы) и образующих, по-существу, единую длительно формирующуюся золото-платинометалльную рудообразующую систему [16, 20, 23].

**1.2. Типы и минеральный состав
золото-платинометалльного оруденения
в железорудных месторождениях-гигантах
КМА**

В качестве одного из крупнейших нетрадиционных источников селективной и попутной золото-платинодобычи XXI столетия рассматриваются супергигантские (Михайловское, Лебединское) и гигантские (Коробковское, Стойленское, Стой-

ло-Лебединское) железорудные месторождения железисто-кремнисто-сланцевой формации, в которых сосредоточено две трети разведанных запасов железных руд России.

По условиям локализации, морфологии и масштабам рудных залежей, особенностям их минерализации, содержаниям благородных металлов и промышленной значимости выделены шесть типов [9, 16, 23, 27] (табл. 1).

Таблица 1

Генетические типы и закономерности размещения золото-платинометалльного оруденения железорудных месторождений-гигантов КМА

Структурно-вещественный контроль оруденения	Содержание Au, Pt, Pd (г/т)	Тип минерализации	Морфология рудных залежей	Возможное практическое применение
1. Осадочно-метаморфогенный				
Обширные площади развития железистых кварцитов в пределах месторождений	Низкие (фоновые) Au = 0,02–0,12 ЭПГ до 0,05	Рассеянный	Пластовые залежи железистых кварцитов	Попутное извлечение из продуктов переработки железных руд
2. Метаморфогенно-метасоматический				
Зоны контакта углеродистых сланцев с кварцитами и внутрирудные углеродсодержащие сланцы с обильной сульфидной минерализацией	Au = 0,54–6,18 Pt = 0,12–0,30 Pd = 0,58–0,77	Концентрированный	Стратиформные залежи в сланцах мощностью от первых метров до 90 м и протяжённостью до 70 км	Самостоятельные золото-платиноидные объекты для селективной отработки
3. Гидротермально-метасоматический				
Серия прерывистых линейных зон гидротермально-метасоматических образований с локальными зонами метасоматитов	Au = 0,6–6,2 – иногда до 35,8 ЭПГ – до 0,3–0,5	Концентрированный	Жилы, линзо- и жиллообразные тела мощностью до 3–5 м и протяжённостью первые сотни метров среди железистых кварцитов	Самостоятельные, преимущественно золоторудные объекты для селективной отработки
4. Гипергенно-метасоматический				
Зоны развития линейных кор выветривания железистых кварцитов (богатые маритовые руды)	Au = 0,64–4,30 иногда до 41,7 ЭПГ = 0,10	Концентрированный	Разнообразные по масштабам линзо- и жиллообразные секущие тела в «карманах» кор выветривания	Самостоятельные платиносодержащие золоторудные объекты для селективной отработки
5. Осадочный				
Базальные горизонты зон несогласий (докембрий-фанерозой), перекрывающие богатые маритовые руды	Au = 0,53 Pt = 0,15 Pd = 1,70 PЗЭ = 556,3 U = 12,2–23,6	Концентрированный	Пластовые тела сульфидизированных органических пород девона («фосфоритовая плита» мощностью от 1 и более метров) в кровле железорудных месторождений	Самостоятельные уран-редкоземельно-благороднометаллоносительские объекты во вскрышных породах (селективная отработка)
6. Техногенный				
Продукты-хвостоотвалы действующих ГОКов	Au = 25,0–45,0 ЭПГ до 1,6 (в песках гидроциклона) Pd = 0,4 Pt = 0,2 Au = 15,0 (в немагнитной фракции)	Концентрированный	Различные продукты-хвостоотвалы ГОК	Самостоятельные платино-золоторудные объекты

Одним из наиболее крупных по ресурсам Au и ЭПГ является метаморфогенно-метасоматический (стратиформный) тип в сланцах, наиболее

полно проявившийся в пределах Михайловского железорудного района (рис. 2, 3) и в меньшей мере – Старооскольского района (рис. 4).

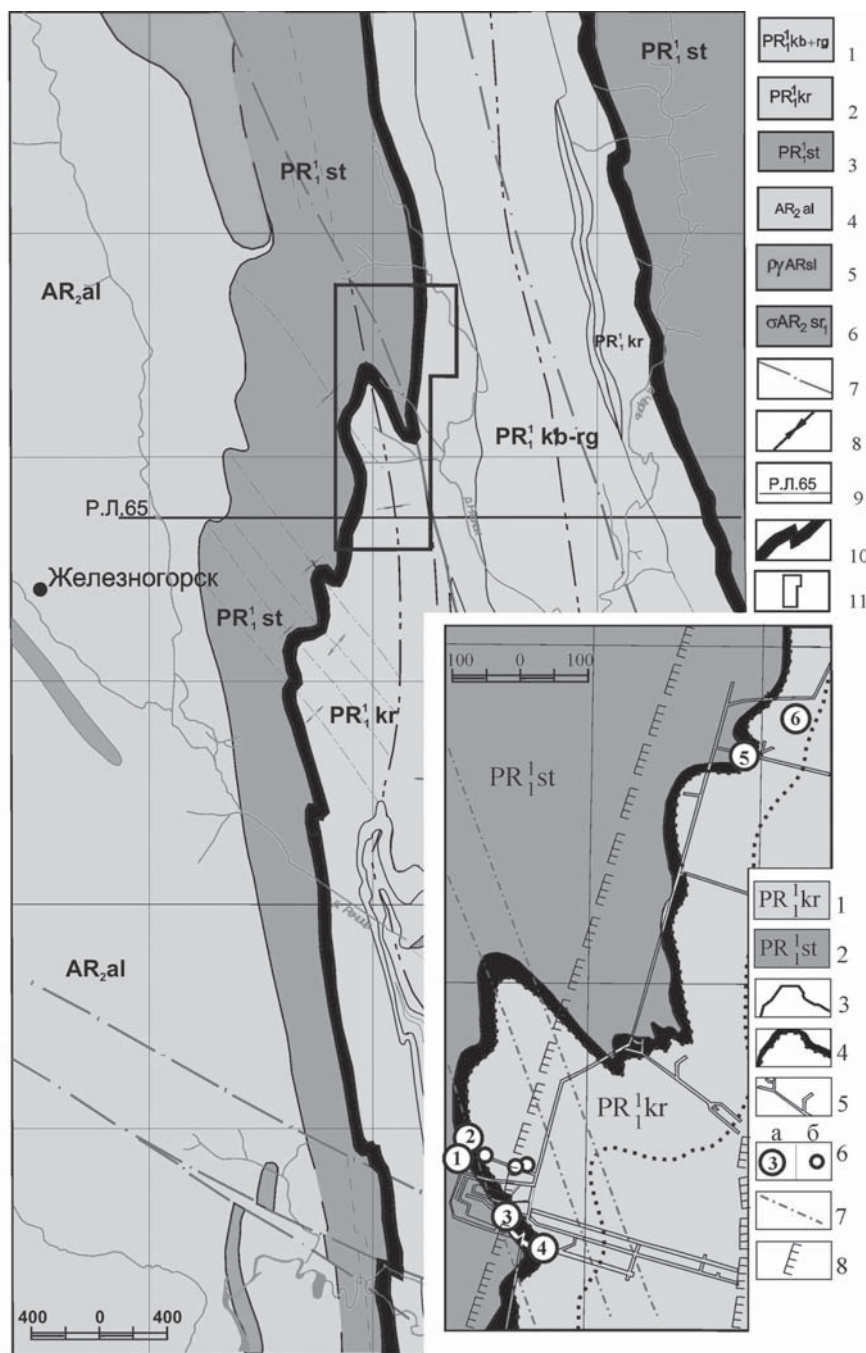


Рис. 2. Положение золото-платиноносной зоны стратиформного типа Михайловского рудного узла: 1 – курбакинская и роговская свиты ($PR_1^1 kb-rg$); 2 – коробковская свита ($PR_1^1 kr$); 3 – стойленская свита ($PR_1^1 st$); 4 – верхний архей, александровская свита ($AR_2 al$); 5 – разрывные нарушения; 6 – оси складчатых структур; 7 – линия разреза; 8 – рудовмещающая зона стратиформного типа; 9 – контур карты-врезки.

Карта-врезка: Схематический план западного фланга Михайловского месторождения с результатами опробования горных выработок на благороднометалльное оруденение: 1 – коробковская свита; 2 – стойленская свита; 3 – геологические границы; 4 – геологические границы карбонатно-магнетитовых кварцитов; 5 – подземные горные выработки; 6 – благороднометалльные проявления: а) (в г/т): 1 – ($Au = 0,84$; $Pd = 0,77$; $Pt = 0,13$); 2 – ($Au = 0,50$; $Pd = 0,63$; $Pt = 0,12$); 3 – ($Au = 2,87$; $Pd = 0,58$; $Pt = 0,30$); 4 – ($Au = 4,83$; $Pd = 0,60$; $Pt = 0,21$); 5 – ($Au = 2,99$; $Pd = 0,65$); 6 – ($Au = 0,86$; $Pd = 0,61$); б) – золота с содержанием не менее 0,5 г/т; 7 – разрывные нарушения; 8 – контуры карьера

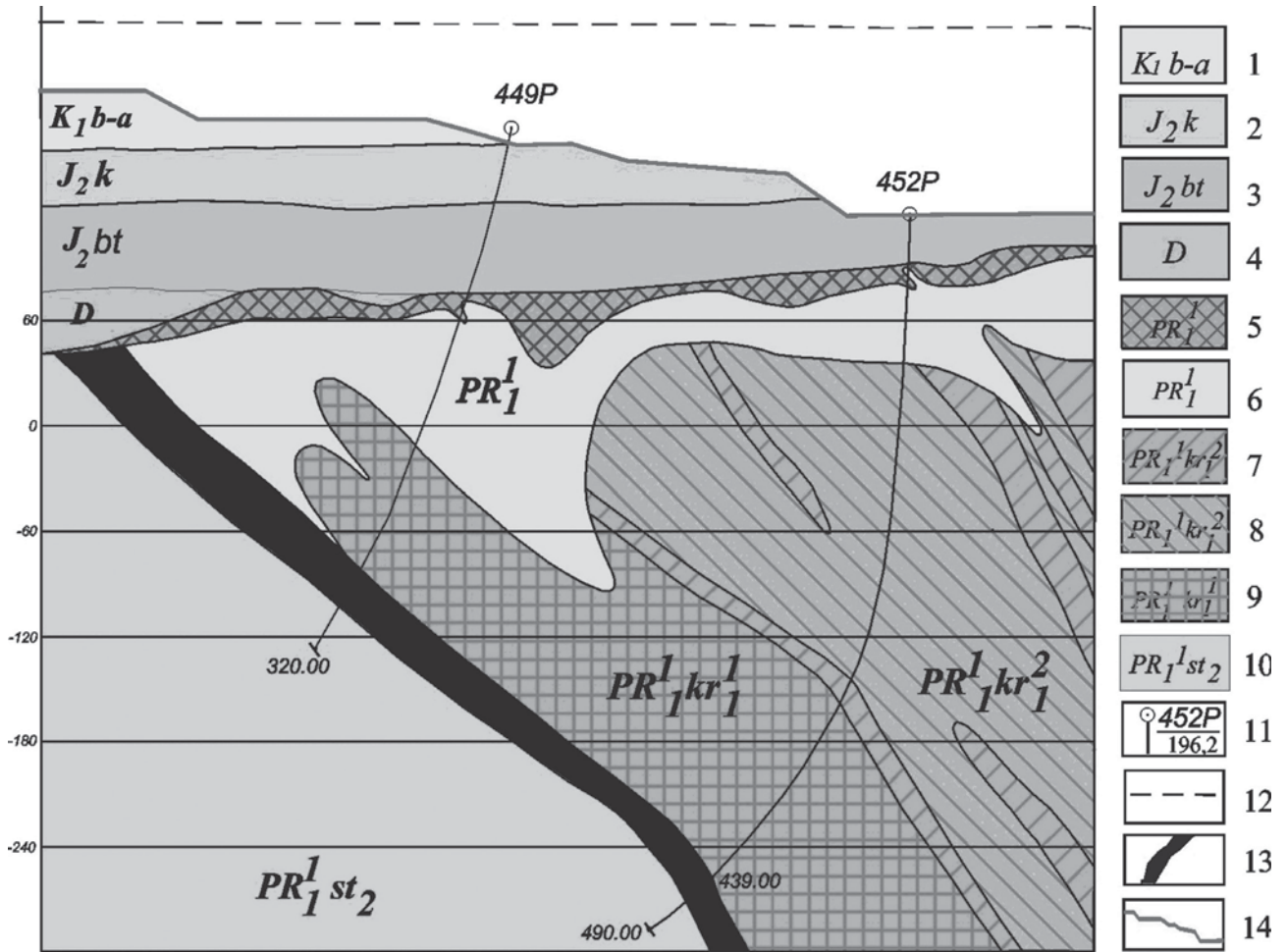


Рис. 3. Положение золото-платиноносной рудовмещающей зоны стратиформного типа в разрезе Р-65 Михайловского месторождения: 1–10 – геолого-стратиграфические образования: 1 – нижнемеловые отложения; 2–3 – средненюрские отложения, келловейский ярус (2), батский ярус (3); 4 – девонские отложения; нижний протерозой; 5 – богатые железные руды; 6 – окисленные железистые кварциты; 7–9 – нижняя железорудная подсвита коробковской свиты: вторая пачка, гематит-магнетитовые кварциты (7), магнетит-гематитовые кварциты (8); первая пачка, карбонатно-магнетитовые кварциты (9); 10 – верхнестойленская подсвита; 11 – скважины и их номера; 12 – дневная поверхность; 13 – рудовмещающая зона стратиформного типа золото-платинометалльного оруденения; 14 – контур карьера

При разработке технологии комплексного освоения и глубокой переработки руд стратегически важных благородных металлов особое значение имеет выявление минеральных и иных форм их нахождения. С этой целью из железных руд, вмещающих их углеродистых сланцев зоны контакта с кварцитами и внутрирудных сланцев, с которыми ассоциируют ведущие промышленно-генетические типы золото-платинометалльного оруденения, был отобран ряд технологических проб. Их обработка осуществлялась по известной методике применительно железистых кварцитов [14, 15]. Из одной половины полученного гравитационного концентрата выполнено определение содержа-

ний благородных металлов в исходных кварцитах и сланцах и их технологических продуктах. Весь материал второй половины («ультратяжёлый концентрат») использован для изготовления препаратов для микрорентгеноспектральных исследований, которые проводились в лабораториях ИГЕМ РАН (Москва) и «Механобр-Аналит» (СПб).

По отдельным типам золото-платинометалльного оруденения результаты исследований были опубликованы ранее [2, 14, 16, 17]. Ниже приводятся обобщённые, в том числе новые данные по минералогии и формам нахождения благородных металлов в железорудных месторождениях КМА и их техногенных продуктах (табл. 2).

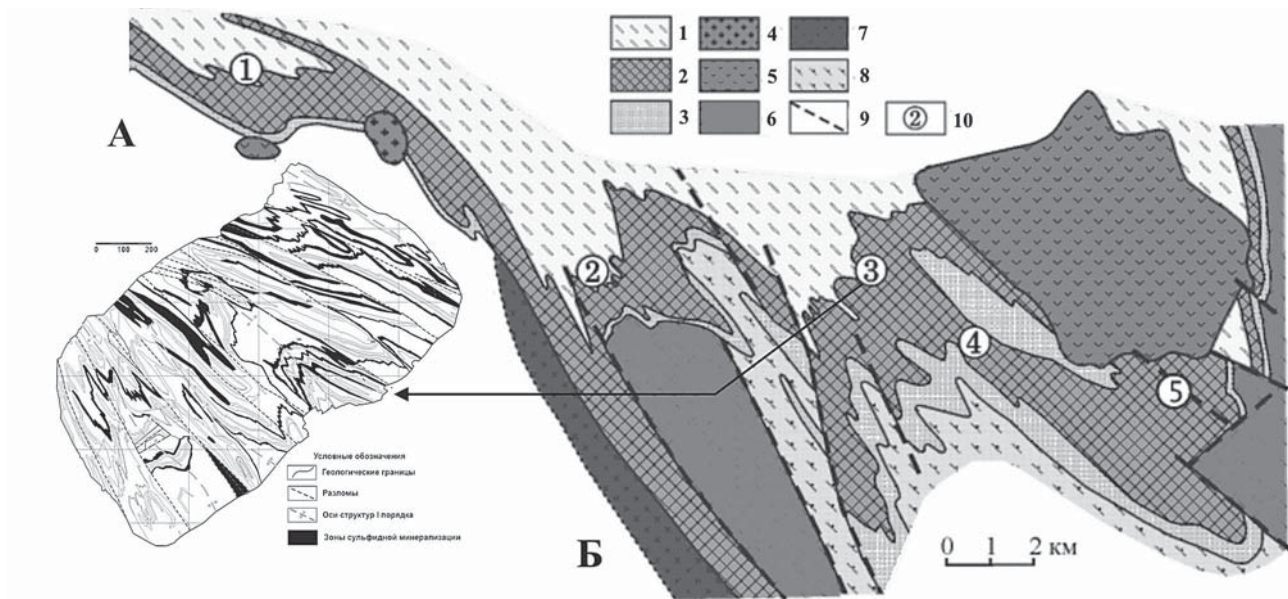


Рис. 4. Карта зон золото-платиносодержащей сульфидной минерализации на Лебединском месторождении (А) и схематическая геологическая карта Старооскольского железорудного узла (Б): нижний протерозой – курская серия: 1–2 – коробковская свита: 1 – верхняя сланцевая подсвита ($PR_1^1 kg_4$), 2 – верхняя и нижняя железорудные подсвиты с внутрирудной (нижней) сланцевой подсвитой ($PR_1^1 kg_{3-1}$); 3 – стойленская свита ($PR_1^1 st$) – кварцитопесчаники, кварц-сланцевые сланцы; 4 – микроклиновые граниты атаманского комплекса ($\gamma PR_1^2 a$); 5 – габбродиориты, кварцевые диориты стойло-николаевского комплекса ($\gamma dVPR_1^1 sn$); 6 – нерасчлененный гранитогнейсовый комплекс ($m\gamma(AR-PR_1^1)$) – гранитогнейсы, мигматиты, гнейсы, прослои и линзы амфиболитов; верхний архей – 7 – плагиограниты салтыковского комплекса ($\gamma AR_2 sl$); 8 – михайловская серия ($AR_2 mh$); 9 – разломы; 10 – месторождения: 1 – Панковское, 2 – Коробковское, 3 – Лебединское, 4 – Стойло-Лебединское, 5 – Стойленское

Таблица 2

Рудные минералы золото-платинометалльного оруденения в железорудных месторождениях КМА

Самородные металлы, металлические твердые растворы и интерметаллические соединения	
Золото самородное и палладий-серебро-медьсодержащее	1. $Au_{0,96}Ag_{0,03}$; 2. $Au_{0,89}Ag_{0,05}Cu_{0,07}$; 3. $Au_{0,99}Ag_{0,01}$; 4. $Au_{0,90}Ag_{0,10}$; 5. $Au_{0,67}Ag_{0,26}Cu_{0,07}$; 6. $Au_{0,70}Ag_{0,29}Pd_{0,01}$; 7. $Au_{0,96}Ag_{0,02}Cu_{0,02}$
Осмий	$Os_{0,77}Ir_{0,19}Ru_{0,03}Pt_{0,01}$
Рутений	$Ru_{0,64}Ir_{0,18}Os_{0,10}Pt_{0,06}Pd_{0,01}Rh_{0,01}$
Висмут	Bi
Висмут теллурсодержащий	$Bi_{0,98}Te_{0,02}$
Рутениридосмин	$Os_{0,44}Ru_{0,39}Ir_{0,1}Ni_{0,03}Cu_{0,02}Pt_{0,01}$
Платрутеносмиридий	$Pt_{0,34}Ru_{0,32}Os_{0,17}Ir_{0,17}$
Иридрутеносмид	$Ru_{0,5}Ir_{0,21}Os_{0,19}Pt_{0,08}Rh_{0,01}$
Золото-серебряные сплавы	1. $Au_{0,70}Ag_{0,30}$; 2. $Ag_{0,50}Au_{0,49}$; 3. $Au_{0,74}Ag_{0,26}$; 4. $Au_{0,65}Ag_{0,35}$
Золото-медные и золото-медно-серебряные сплавы	1. $Au_{0,50}Cu_{0,50}$; 2. $Au_{0,52}Cu_{0,48}$; 3. $Au_{0,53}Cu_{0,46}Ag_{0,01}$
Электрум	1. $Au_{0,48}Ag_{0,52}$; 2. $Ag_{0,30}Au_{0,70}$
Кюстелит	$Au_{0,17}Ag_{0,83}$
Минералы ряда:	
рутений, иридий, осмий, платина -	$Ru_{0,29}Ir_{0,28}Os_{0,19}Pt_{0,17}Fe_{0,05}Rh_{0,01}$
рутений, платина, родий -	$Ru_{0,38}Pt_{0,32}Rh_{0,13}Ir_{0,06}Os_{0,06}Fe_{0,04}Ni_{0,01}$
осмий, рутений, иридий -	$Os_{0,41}Ir_{0,28}Ru_{0,28}Pt_{0,08}Rh_{0,02}Fe_{0,01}Ni_{0,01}$

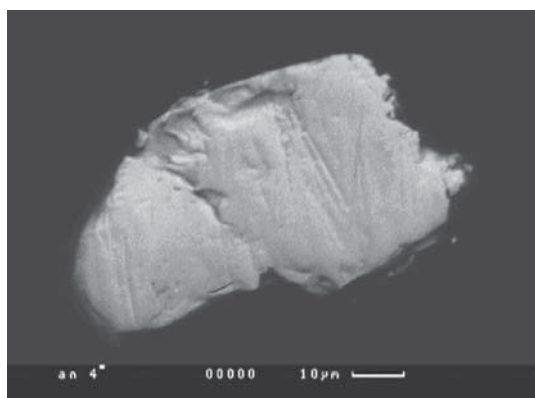
Сысертскит	$\text{Os}_{0,55}\text{Ir}_{0,34}(\text{Ru}_{0,11})$		
Невьянскит	$\text{Ir}_{0,53}\text{Os}_{0,43}(\text{Fe}_{0,02}\text{Ni}_{0,01}\text{Rh}_{0,004})$		
Сульфиды			
Прассоит	$(\text{Rh}_{16,45}\text{Pt}_{0,61}\text{Ru}_{0,43})_{17,49}\text{S}_{15,00}$		
Маккинстриит	$(\text{Ag}_{1,15}\text{Au}_{0,10}\text{Fe}_{0,10}\text{Cu}_{0,66})_{2,01}\text{S}$		
Гр. Пирротина (Pt,Pd,Au-содержащий)	Fe_{1-x}S		
Пирит (Pt,Pd,Au-содержащий)	FeS_2		
Халькопирит (Pt,Pd,Au-содержащий)	CuFeS_2		
Марказит	FeS_2		
Сфалерит	ZnS		
Галенит (Pt,Pd,Au,Ag-содержащий)	PbS		
Молибденит	MoS_2		
Борнит (Pd-содержащий)	Cu_5FeS_4		
Халькозин	Cu_2S		
Ковеллин	$\text{Cu}_2\text{S}\cdot\text{CuS}_2$		
Пенталандит	$(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$		
Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, висмутиды, сульфосоли			
Монченит	$(\text{Pt}_{0,994}\text{Pd}_{0,026}(\text{Bi}_{0,063}\text{Te}_{1,937}))_{2,00}$		
Сперрилит	$(\text{Pt}_{1,01}\text{Fe}_{0,02})_{1,03}(\text{As}_{1,91}\text{S}_{0,09})_{2,00}$		
Петцит	1. $(\text{Ag}_{3,09}\text{Au}_{1,03})_{4,12}\text{Te}_{2,00}$; 2. $(\text{Ag}_{3,01}\text{Au}_{0,96})_{3,97}\text{Te}_{2,00}$; 3. $(\text{Ag}_{2,99}\text{Au}_{1,04})_{4,03}\text{Te}_{2,00}$		
Гессит	1. $(\text{Ag}_{1,99}\text{Au}_{0,03})_{2,02}(\text{Te}_{0,96}\text{Bi}_{0,04})$; 2. $\text{Ag}_{2,01}\text{Te}_{1,00}$		
Креннерит	$(\text{Au}_{0,85}\text{Ag}_{0,16})_{1,01}\text{Te}_{2,00}$		
Цуманит	$\text{Au}_{0,85}\text{Te}_{0,51}\text{Bi}_{0,48}$		
Сильванит	1. $(\text{Au}_{0,55}\text{Ag}_{0,46})_{1,01}\text{Te}_2$; 2. $(\text{Au}_{0,72}\text{Ag}_{0,32})_{1,04}\text{Te}_2$		
Вольнскит	$(\text{Ag}_{1,03}\text{Bi}_{1,01})_{2,04}\text{Te}_2$		
Мутманнит	$(\text{Au}_{0,97}\text{Ag}_{1,02})_{1,99}\text{Te}_2$		
Мальдонит	$(\text{Au}_{1,98}\text{Ag}_{0,14})_{2,12}\text{Bi}_{1,00}$		
Алтаит	1. $\text{Pb}_{1,04}\text{Te}_{1,00}$; 2. $\text{Pb}_{1,00}(\text{Te}_{0,94}\text{S}_{0,06})_{1,00}$		
Лиллианит	$\text{Pb}_{3,00}\text{Bi}_{2,10}\text{S}_{6,00}$		
Висмутин	$\text{Bi}_{2,04}\text{S}_{2,96}\text{Cu}_{0,04}$		
Хедлиит (Pt-содержащий)	$\text{Te}_{3,00}\text{Bi}_{6,95}$		
Жозеит-А	1. $\text{Te}_{1,00}\text{S}_{2,02}\text{Bi}_{3,68}$; 2. $\text{Te}_{1,07}\text{S}_{1,90}(\text{Bi}_{4,01}\text{Cu}_{0,10})_{4,11}$		
Тетрадимит	1. $(\text{Te}_{2,04}\text{S}_{1,00})_{3,04}\text{Bi}_{2,00}$; 2. $(\text{Te}_{2,00}\text{S}_{1,00})_{3,00}\text{Bi}_{2,00}$		
Арсенопирит (Pt-содержащий)	FeAsS		
Теннантит	$\text{Cu}_{12}\text{As}_4\text{S}_{13}$		
Тетраэдрит	$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$		
Никелистый кобальтин-герсдорфит (Pd-содержащий)	1. $(\text{Co}_{0,67}\text{Ni}_{0,27}\text{Pd}_{0,04}\text{Fe}_{0,02})\text{AsS}$; 2. $\text{Co}_{0,68}\text{Ni}_{0,22}\text{Fe}_{0,07}\text{Pd}_{0,03}$		
Герсдорфит (Pd-содержащий)	$(\text{Ni}_{0,84}\text{Co}_{0,09}\text{Fe}_{0,08}\text{Pd}_{0,02})\text{AsS}$		
Лёллингит никельсодержащий	$(\text{Fe}_{0,82}\text{Ni}_{0,18})\text{As}_2$		
Оксиды, гидрооксиды и др.			
Магнетит	Fe_3O_4	Лимонит	$\text{FeO}(\text{OH})\cdot n\text{H}_2\text{O}$
Гематит	Fe_2O_3	Лепидокрокит	$\text{FeO}(\text{OH})$
Ильменит	FeTiO_3	Сидерит	$\text{Fe}[\text{CO}_2]$
Рутил	TiO_2	Ярозит	$\text{Fe}_3(\text{OH})_6[\text{SO}_4]_2$
Касситерит	SnO_2	Барит	$\text{Ba}[\text{SO}_4]$
Уранинит и настуран	U_2UO_7	Шеелит	$\text{Ca}(\text{W,Mo})\text{O}_4$
Бадделеит	ZrO_2	Монацит	$(\text{Ce,Lu})\text{PO}_4$
Гетит	$\text{FeO}(\text{OH})$	Циркон	$\text{Zr}[\text{SO}_4]$

Золото-платинометалльное оруденение в железистых кварцитах и углеродсодержащих межрудных сланцах рудных районов КМА характеризуется сложным полиминеральным (более 60 минералов) и многокомпонентным составом. Определяющими особенностями благороднометалльного оруденения являются: а) многообразие форм концентрирования и широкое развитие (около 30; см. табл. 2) собственных минеральных фаз ЭПГ, Au и сопутствующих им элементов (Ag, Te, Bi) в виде самородных металлов (Au, Os, Ru, Ir, Bi), металлических твёрдых растворов и интерметаллических соединений (рутениридосмин, платрутеносмиридий, иридрутеносмид, электрум, кюстелит, сплавы Pd-Ag-Cu, Bi-Te-Pd, Au-Cu-Ag, минералы ряда Ru, Ir, Os, Pt, Pd), сульфидов (прассоит, маккинстриит), сульфоарсенидов, теллуридов, висмутидов (мончеит, спериллит, петцит, гессит, креннерит, цуманит, сильванит, вольтскит, мутманнит, мальдонит и др.); б) ведущая (85–90

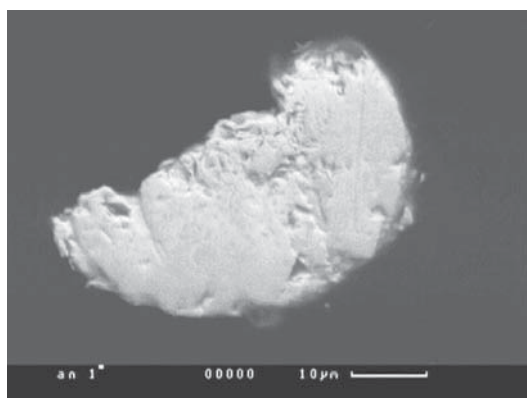
об.%) роль в рудном парагенезисе сульфидов и их аналогов при резком преобладании среди них пирита и пирротина [16, 19, 22, 24], которые вследствие очевидной принадлежности к различным стадиям длительно формирующейся рудообразующей системы характеризуются значительным кристалло-морфологическим разнообразием и существенными вариациями содержаний главных (Fe, S) и сопутствующих (Ni, Co, Cu); в) наличие оксидов Fe, Ti, Sn, U, Zr и гидроксидов, карбонатов и сульфатов Fe, Ba, а также шеелита, монацита, циркона.

Основные кристалломорфологические типы минеральных фаз благородных металлов и их соотношения иллюстрируются рис. 5, 6, 7.

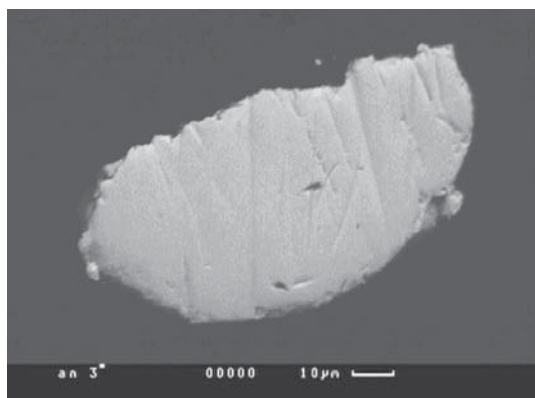
Помимо собственных минеральных фаз значительные концентрации ЭПГ и Au установлены в сульфидах и их аналогах (Pd = 0,01–2,3 мас.%, Pt = 0,02–1,28 мас.%, Au = 0,02–0,62 мас.%, Ag до 0,42 мас.%) [16, 19, 22].



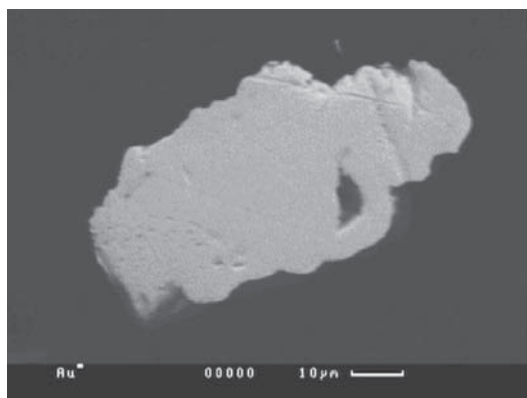
Осмий самородный



Платиридосмин



Платосмиридий



Золото самородное

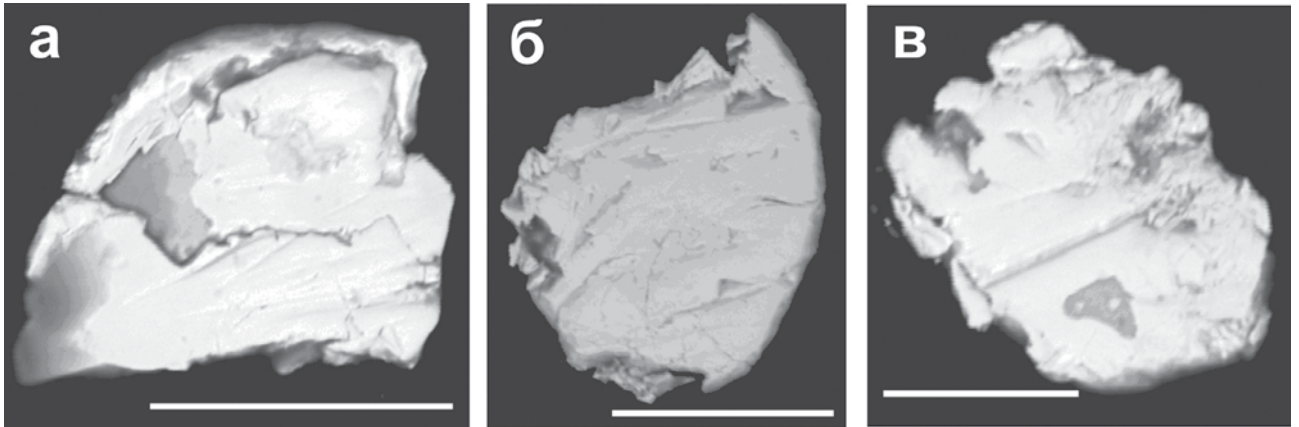
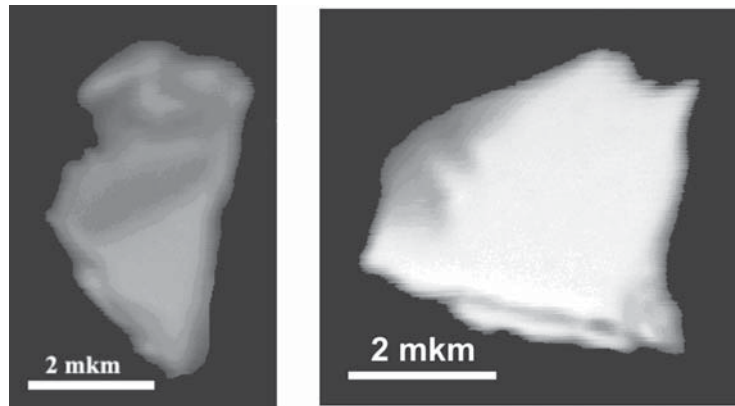
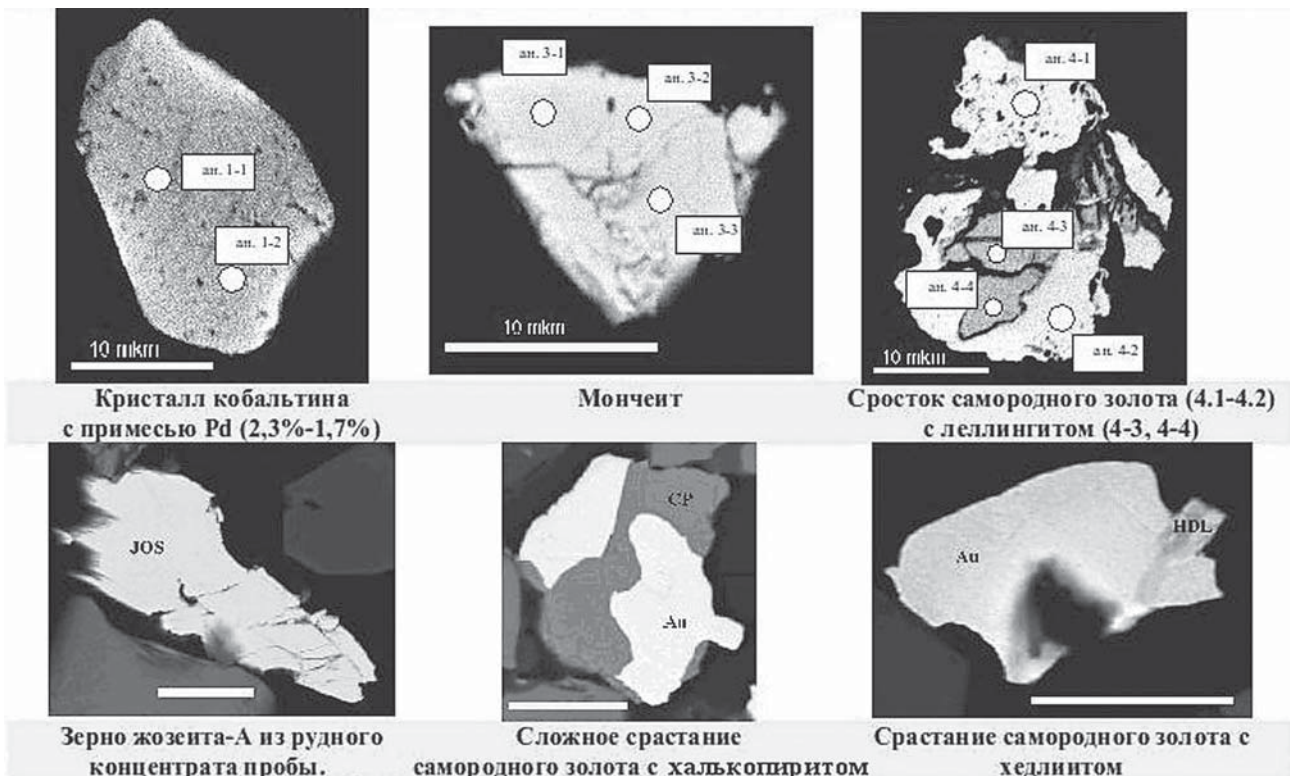


Рис. 5. Зерна тугоплавких платиноидов: а) зерна минералов ряда (Os, Ru, Ir), видны включения, вероятно оксидной фазы (?); б) зерно рутений-осмий-иридиевого сплава с повышенной концентрацией платины (RuIrOsPt); в) зерно самородного рутения с примесью платины и родия (RuPtRh) с включением сульфида родия – прассоита (миассита); проба 18/4, Лебединское месторождение. Метка маркера – 10 мкм



Характерные формы выделений сперрилита в тяжелой фракции



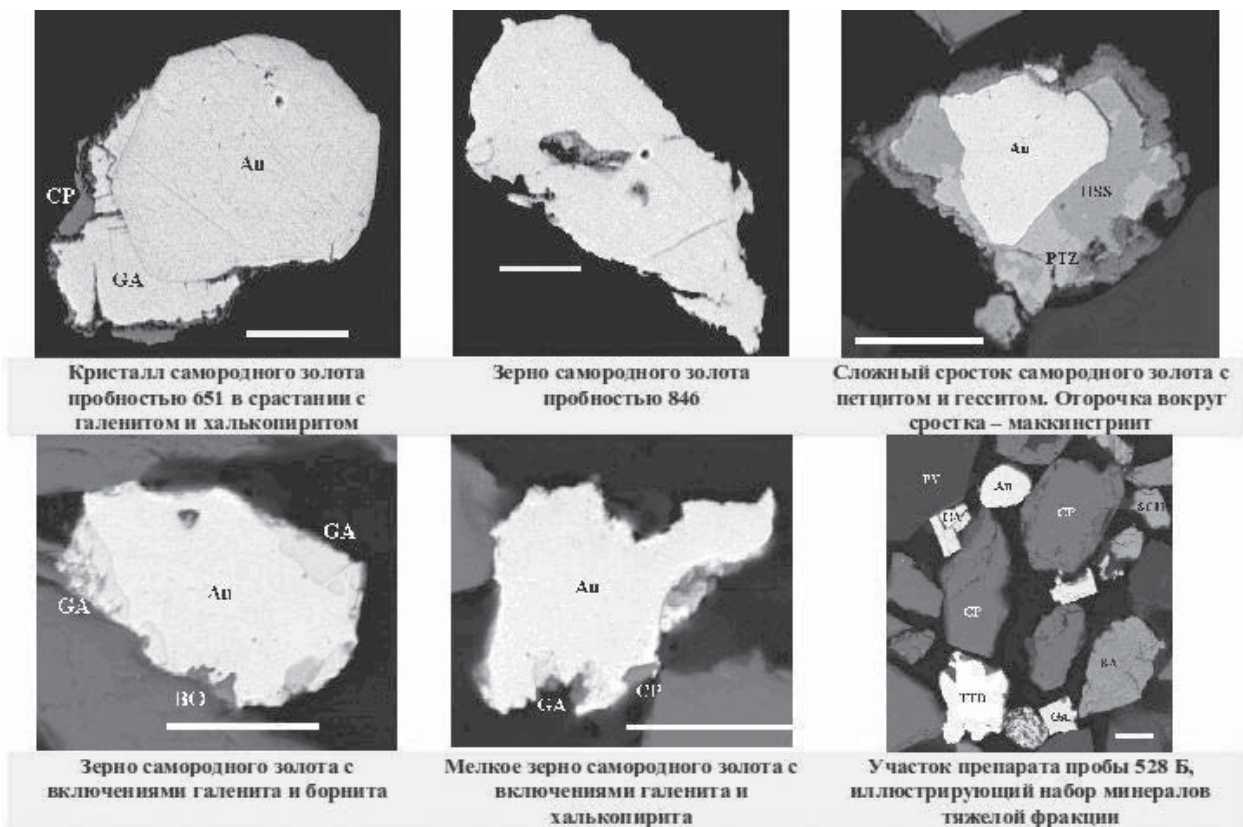


Рис. 6. Основные формы выделения минеральных фаз платиноидов и золота в железистых кварцитах КМА

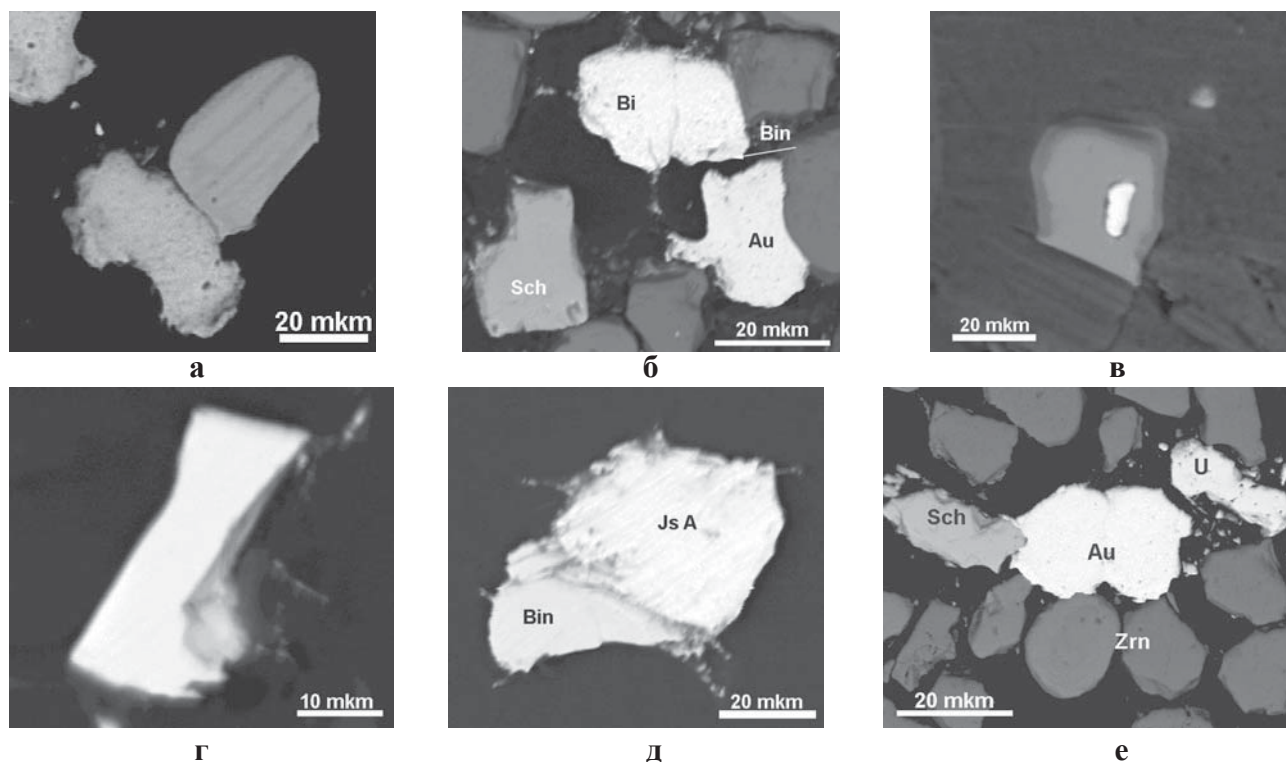


Рис. 7. Формы выделения самородного золота и сопутствующих минералов в железистых кварцитах: а) два зерна золота разного состава: полосатое зерно – сплав золото-меди (темные полосы – AuCu; светлые – Au₂Cu); крапчатое зерно снизу золото-серебряного состава; б) зерна золота (Au) и висмута (Bi) в сростании с висмутином (Bin) и шеелитом (Sch); в) включение самородного золота в пирите (хлорит-карбонатный метасоматит); г) кристалл лиллианита (в центре); д) сростание висмутита (Bin) и жозеита А (Js А); е) золото в ассоциации с уранинитом (U) цирконом (Zrn) и шеелитом

1.3. Минералогия золото-платинометалльного оруденения в черносланцевых стратифицированных толщах и их метасоматитах оскольской серии

Помимо стратифицированных золото-платиносодержащих залежей на контакте стойленской и коробковской свит курской серии и залегающих среди железистых кварцитов внутрирудных сланцев, интерес представляют высокоуглеродистые сланцы и метасоматиты оскольской вулканогенно-осадочной серии (тимской и старооскольской типы), перекрывающей курскую. Эти отложения, представляющие совместно с курской серией, по-существу единый палеопротерозойский структурно-формационный комплекс протоплатформенного этапа и последующего континентально-рифтогенеза и коллизии, особенно отчетливо проявляются в Старооскольском железорудном районе с известными сверхкрупными и крупными месторождениями КМА (см. рис. 4).

Оруденение **тимского типа**, сосредоточенное, преимущественно, в крупной (протяжённость 130 км при ширине 30–50 км) Тим-Ястребовской структуре КМА (рис. 8) характеризуется: а) лока-

лизацией в нижней сульфидизированной углеродистой терригенно-осадочной части разреза тимской свиты оскольской серии; б) многоуровневым (3–7 горизонтов, мощностью от первых метров до 25–30 метров) размещением, высокими концентрациями (1.5–34.6 г/т) ЭПГ и Au, отчетливой корреляционной связью их с С, S и рядом петрогенных и малых (Ni, Cu, Co, Cr, Zn, Ti, V, P и др.) элементов, преимущественно базальтоидным типом распределения ЭПГ (Pd > Pt > Rh > Ru > Ir > Os); в) высокой степенью концентрирования благородных металлов в наиболее тонкозернистой (<0.06 мм) сульфидно-углеродистой фракции, в которой их концентрации многократно (15–16 раз) превышают содержания в исходных (рудомещающих) породах [11, 18, 20, 21].

При исследовании двух крупнообъёмных проб (Ф-11511; скв. 4011, интервал 459,0–477,0 м и Ф-11512; скв. 4014, интервал 314,0–357,0 м), отобранных из Лунёвско-Введенской рудоносной зоны, показали высокие концентрации ЭПГ и Au атомно-адсорбционным методом, при этом применение СВЧ и катализа позволило существенно повысить содержания благородных металлов (табл. 3).

Таблица 3

Содержание элементов платиновой группы, золота и серебра в пробах высокоуглеродистых сланцев Луневско-Введенской зоны КМА (по [18])

Элементы	Ф-11511		Ф-11512	
	Атомно-адсорбционный метод, в г/т	Суммарное содержание после обработки, г/т	Атомно-адсорбционный метод, в г/т	Суммарное содержание после обработки, г/т
Pt	0.30	0.75	0.54	0.68
Rh	0.25	0.71	0.50	0.89
Ir	0.90	1.82	1.00	1.05
Pd	0.10	0.64	0.05	0.42
∑ ЭПГ	1.55	3.92	2.09	3.24
Au	0.90	3.10	1.15	4.30
Ag	12.00	21.20	9.3	19.40
∑ ЭПГ+Au+Ag	14.45	28.22	12.54	26.96

К этой структуре приурочен **кшенский тип** золото-платиносодержащего оруденения, сосредоточенный в протяжённой Воскресеновской рудоносной зоне рассланцованных, катаклазированных, миланитизированных и различных по степени интенсивности метаморфически и метасоматически преобразованных основных и ультраосновных вулканитов и углеродсодержащих вулканогенно-осадочных пород верхней части разреза тимской свиты (рис. 9). Характерными особенностями кшенского типа оруденения яв-

ляются [4, 5, 11, 16, 20, 21]: а) отчётливая пространственно-временная связь золото-платиносодержащих руд с зонами повышенной сульфидной минерализации, определяющая принадлежность оруденения к сульфидно-вкрапленному типу с ведущей ролью пирит-пирротинового и арсенипирит-пиритового минеральных парагенезисов при крайне ограниченном проявлении жильного сульфидно(пирит)-кварцевого типа; б) резкое преобладание Au (230–6500 мг/т, иногда до 20100 мг/т) над Pt (60–680 мг/т, в редких случа-

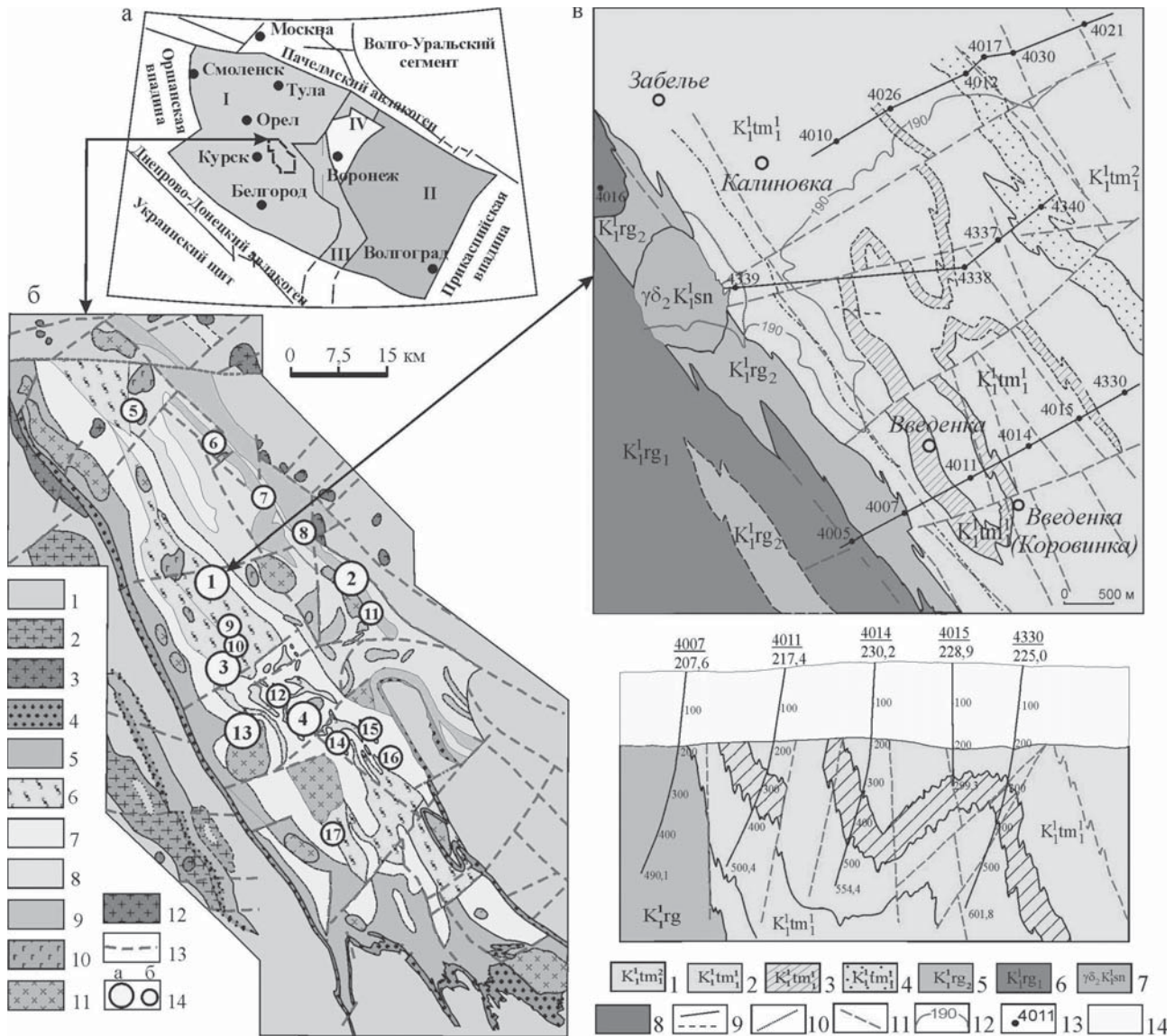


Рис. 8. Схематическая геологическая карта Тим-Ястребовской золото-платиноносной структуры ВКМ (б), ее местоположение на ВКМ (а) и геологическая схема Луневско-Введенского участка центральной части Тим-Ястребовской структуры с разрезом (в): а) I – мегаблок КМА; II – Хоперский мегаблок; III – Лосевская шовная зона; IV – Ольховско-Шукавская грабенсинклираль; многоугольником обозначено местоположение Тим-Ястребовской структуры; б) 1 – обоянский плутоно-метаморфический комплекс (AR_1ob ; плагиогнейсы, прослои и линзы амфиболитов, прослои кварцитов); 2 – салтыковский комплекс мигматит-плагиогранитовый (AR_2sl ; плагиограниты, тоналиты, гранодиориты); 3 – атамановский комплекс умеренно-щелочных гранитов (AR_2a ; граниты умеренно щелочные плагиоклаз-микроклиновые); 4–12 – раннекарельские образования: 4 – курская серия (K_1ks ; кварцито-песчаники, сланцы, железистые кварциты); 5–9 – оскольская серия: 5 – роговская свита (K_1rg ; карбонатные сланцы, кварц-биотитовые сланцы, доломиты, известняки); 6–9 – тимская свита, нижняя и верхняя подсвиты: 6–7 – нижняя тимская подсвита (K_1tm_1): 6 – существенно терригенная: углеродистые сланцы, метапесчаники, метаалевролиты; 7 – вулканогенно-терригенная: ортосланцы основного и среднего состава, амфиболиты, углеродистые сланцы; 8–9 – верхняя тимская подсвита (K_1tm_2): 8 – нижняя терригенно-углеродистая толща (метапесчаники, сланцы, карбонатные сланцы, амфиболиты); 9 – верхняя вулканогенная толща (ортосланцы ультраосновного, основного и реже среднего состава, амфиболиты, метапесчаники); 10 – золотухинский перидотит-пироксенит-габроноритовый комплекс (K_1z); 11 – стойло-николаевский диорит-гранодиоритовый комплекс (K_1sn); 12 – малиновский гранитный комплекс (K_1m); 13 – тектонические нарушения; 14 – разномасштабные по ресурсам (а, б) благороднометалльные рудопроявления: 1 – Луневское, 2 – Кшенское, 3 – Погоженское, 4 – Прилепское, 5 – Сергиевское, 6 – Верхне-Березовское, 7 – Луговское, 8 – Панское-I, 9 – Северо-Тимское, 10 – Тимское, 11 – Рогозецкое, 12 – Южно-Погоженское, 13 – Роговское, 14 – Зареченское, 15 – Петровское, 16 – Безленкинское, 17 – Круто-верховское; в) 1 – нижнетимская подсвита, верхняя толща: ортосланцы по породам основного состава (амфибо-

ловые, актинолит-амфиболитовые сланцы) амфиболиты; 2–4 – нижнетимская подсвита: 2 – горизонт углеродсодержащих кварц-биотитовых сланцев с прослоями кварцитовидных песчаников, метапесчаников, карбонатных пород умеренно сульфидизированных, гранатсодержащих; 3 – горизонт углеродистых кварц-плаггиоклаз-слюдистых золото-платиносодержащих сланцев с широким развитием карбонатных, карбонат-амфиболовых пород, тремолитов, доломитов с повышенным содержанием сульфидов; 4 – горизонт черных, темно-серых углеродистых кварц-биотитовых сланцев, алевросланцев с прослоями метапесчаников умеренно сульфидизированных; 5 – роговская свита, верхняя подсвита: доломиты, амфибол-карбонатные породы, сланцы; 6 – роговская свита, нижняя подсвита; 7–8 – интрузивные образования: 7 – стойло-николаевский комплекс, вторая фаза: гранодиориты и кварцевые диориты; 8 – первая фаза: габбро, габбродиориты; 9 – геологические границы: достоверные и предполагаемые; 10 – границы одновозрастных образований (фациальные) внутри стратиграфических подразделений; 11 – разломы; 12 – абсолютная отметка кристаллического фундамента; 13 – местоположение и номера пробуренных скважин; 14 – породы осадочного чехла

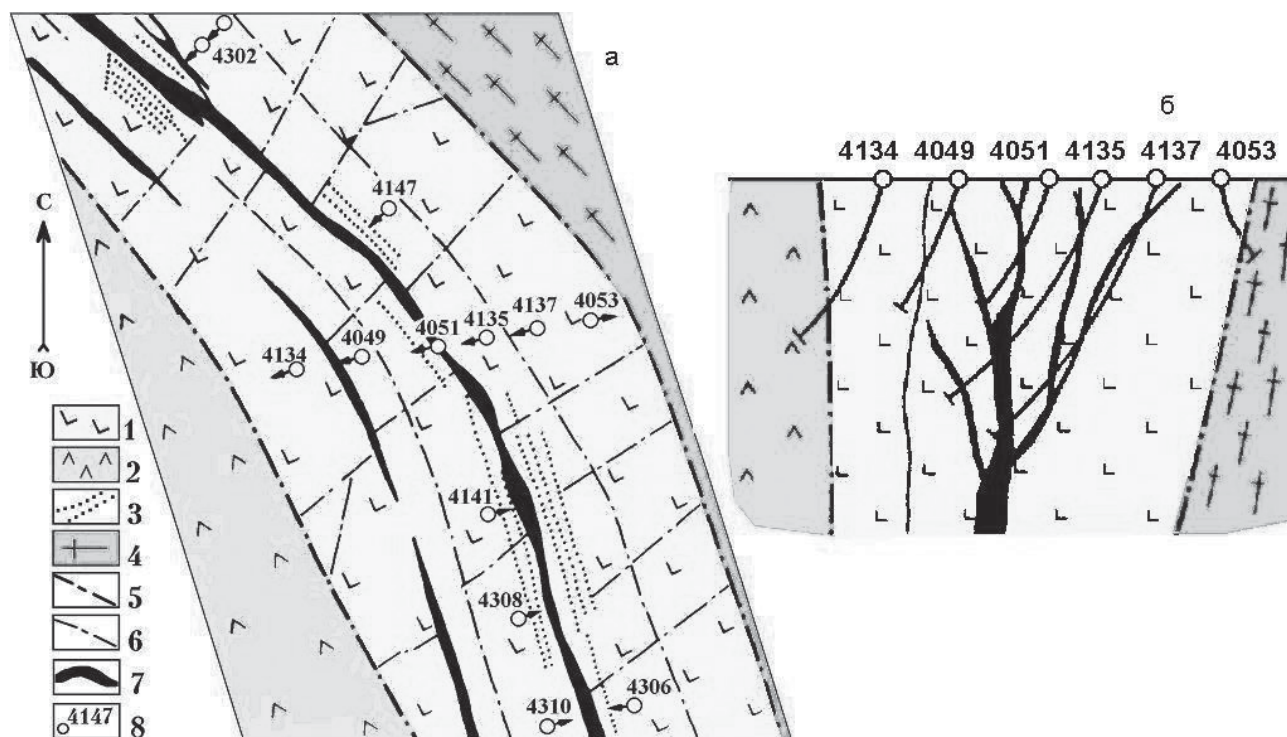


Рис. 9. Схема геологического строения (а) и геологический разрез (б) Кшенского рудопоявления: 1–2 – оскольская серия, верхняя подсвита тимской свиты: верхняя толща (1), нижняя толща (2); 3 – дайки разного состава и формационной принадлежности; 4 – мигматиты, анатектит-граниты; 5–6 – разрывные нарушения: главные (5) и второстепенные (6); 7 – золото-платиносодержащие рудные тела; 8 – скважины и их номера

ях до 18000 мг/т) и Pd (50–100 мг/т, иногда до 400 мг/т); в) значительная аналогия по геологоструктурному положению, характеру рудовмещающих пород, условиям локализации бескварцевого сульфидно-вкрапленного типа оруденения с рядом известных крупных месторождений (Калгури в Австралии, Гейта в Танзании, Вендерер в Южной Родезии; [16, 20]).

Золото-платинометалльное оруденение тимского и кшенского типов характеризуется сложным многокомпонентным, полиминеральным составом (свыше 60 рудных минералов, в том числе более 20 собственных минеральных фаз ЭПГ и Au; табл. 4) и многообразием форм распределения благородных металлов в виде [11, 20, 21]: а) самородных элементов (золото, палладий, платина,

осмий, серебро); б) металлических твёрдых растворов и интерметаллических соединений – палладий платиносодержащий, платина железосодержащая, золото-платина-палладий, осмистый иридий, рутениридосмин, платиридосмин, платосмиридий, золото ртути-теллур-серебросодержащее, амальгама золота-серебра, аркверит, станнид палладия (неназванный минерал), платина-палладий-золото-серебро-олово; в) сульфоарсенидов, теллуридов антимонидов, селенидов и сульфосолей ЭПГ, Au и Ag – сперрилит, ирарсит, гёссит, селенид палладия и платины (неназванный минерал), тестибиопалладинит, антимонид палладия и золота (неназванный минерал) и др.; г) примесей в основных платино-палладий-золотосодержащих рудообразующих сульфидах (мас.%) – пирротине

(Au до 0,27, Pt до 0,27 и Pd до 0,13), пирите (Pt до 0,18, Au до 0,17 и Pd до 0,03), халькопирите (Pt до 0,60, Au до 0,16 и Pd до 0,08), сфалерите (Pd до 0,06) и других спорадически развитых сульфидах, сульфоарсенидах, сульфоантимонидах и теллуридах – арсенопирите (Au до 0,32, Pt до 0,18), пентландите (Au = 0,13, Pt до 0,07, Pd до 0,04), галените (Pt до 0,15, Au до 0,10), молибдените (Pd до 0,14, Au до 0,07), теллуировисмутите (Pt до 0,95, Au до 0,35, Pd до 0,08), ульманите (Pt до 0,17, Au до 0,11, Pd до 0,08), алабандине (Pd до 0,13, Pt до 0,10, Au до 0,10), герсдорфите (Pt до 0,22, Au до 0,31, Pd до 0,02), кобальтине (Pd до 0,03), которые в совокупности с нахождением благородных металлов в углеродистом веществе (в том числе и в фуллеренах) определяют необходимость разработки принципиально новых экологически безопасных технологий извлечения всего комплекса металлов [18].

Выполнена оценка ресурсов (категории P1-P2-P3) в пределах развития черносланцевых толщ и метасоматитов (тимской и кшенский типы) Тим-Ястребовской структуры (Au = 1754 т, ЭПГ = 763 т; Au + ЭПГ = 2517 т) и стратиформного черносланцевого старооскольского типа в пределах контура

Михайловского железорудного узла (по категории P2 + P3; Au = 520 т, Pt = 275 т, Pd = 561,6 т; Au + ЭПГ = 1356,6 т).

Характерной особенностью минералов ЭПГ и Au является их тесная ассоциация со сложными титанатами Ba, Ca и Vi. В сростании с минералами титановой группы наиболее часто встречается неназванный титанат Ba, являющийся по составу Ba - аналогом перовскита (Ba,Ca)(Ti,Zr)O₄; реже минералы платиновой группы ассоциируют с перовскитом, титанатом Ba и Vi, а так же титанатами Ba состава BaTiO₃ и Ba₂Ti₅O₁₂. Кроме того, в этих агрегатах присутствуют мелкие (1–5 мкм) включения неназванного титаната бария состава Ba₂Ti₅O₁₂. В палладий-платиносодержащих концентратах тяжелых минералов микрзондовыми анализами установлены апатит, рутил, монацит, шеелит, бадделиит, барит, циркон и др. (см. табл. 4). Тесная ассоциация минералов платиновой группы с титанатами Ba, Ca и Vi выступает в качестве надежного минералогического признака при поисках благороднометалльной минерализации в черных сланцах.

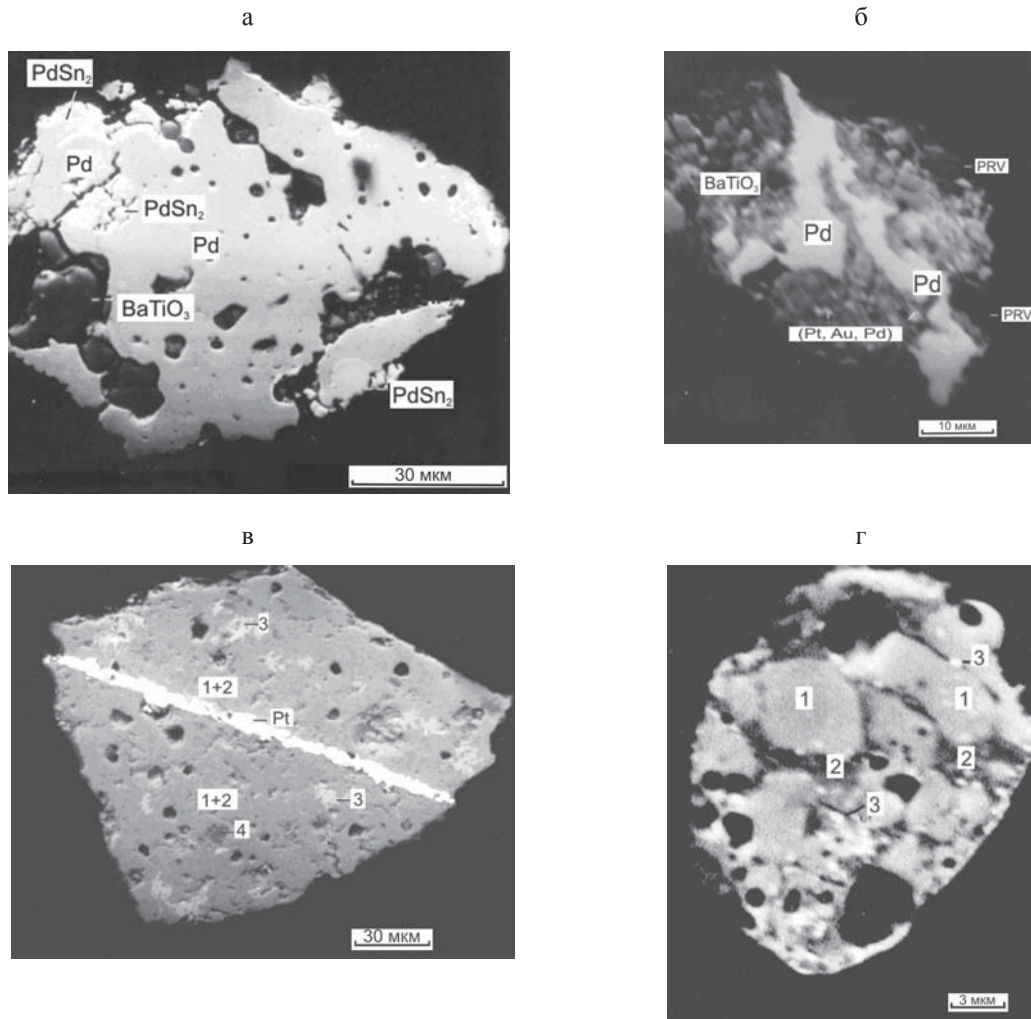
Характерные морфологические типы минеральных фаз ЭПГ, Au и ассоциирующих с ними других минералов приведены на рис. 10–14.

Таблица 4

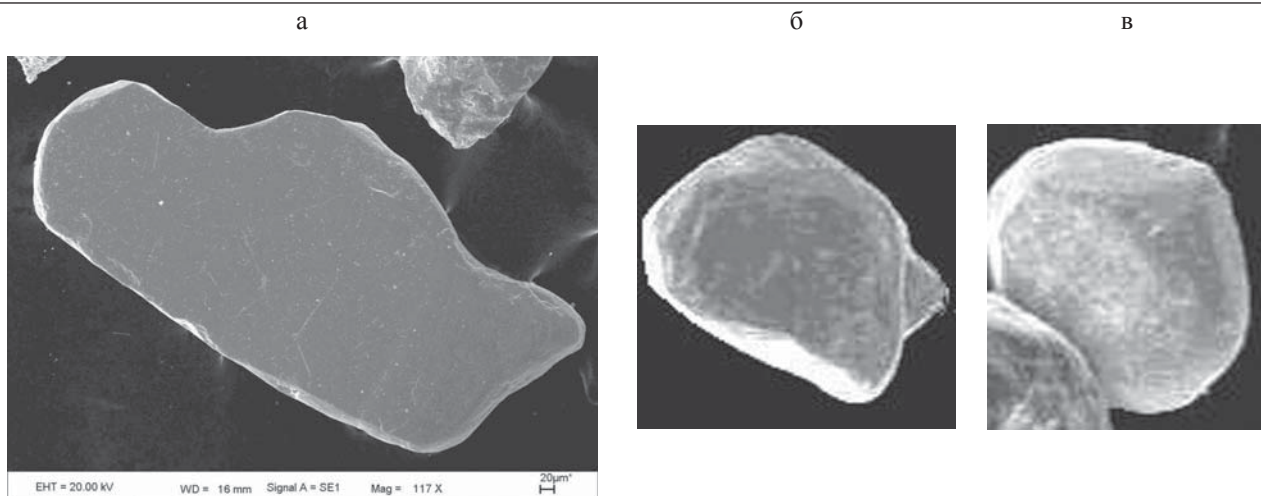
Минералы золото-платинометалльного оруденения черносланцевого типа ВКМ

<i>Самородные металлы</i>	
Золото	Au
Палладий	Pd
Платина	Pt
Осмий	Os
Медь	Cu
Серебро	Ag
<i>Металлические твердые растворы и интерметаллические соединения</i>	
Палладий платиносодержащий	Pd _{0,94} Pt _{0,06}
Платина железосодержащая	Pt _{0,96} Fe _{0,04}
Золото-платина-палладий	Pd _{0,86} Pt _{0,08} Au _{0,04} Fe _{0,02}
Осмистый иридий (невьянскит?)	(Ir,Os)
Платиридосмин	(Os, Ir, Pt)
Рутениридосмин	(Os, Ir, Ru)
Золото ртуть-теллур-серебросодержащее	Au _{0,53} Ag _{0,29} Te _{0,07} Hg _{0,02}
Амальга золота-серебра	Au _{6,95} Ag _{6,07} Hg _{3,14}
Аркверит	(Ag,Hg,Pt)
Станнид палладия (неназванный минерал)	PdSn ₂
Платина-палладий-золото-серебро-олово	(Pt,Pd,Au,Ag,Sn,Zn)
<i>Сульфиды</i>	
Пирит	FeS ₂
Ni-Cu-пирит	(Fe,Cu,Ni)S ₂
Ni-Co-пирит	(Fe,Ni,Co)S ₂

Макинавит	$(\text{Fe}_{7.86}\text{Ni}_{0.89}\text{Co}_{0.04}\text{Cu}_{0.13}\text{Zn}_{0.02})_{8.94}\text{S}_{8.06}$
Пирротин	Fe_{1-x}S
Ni-пирротин	$(\text{Fe,Ni})_{1-x}\text{S}$
Пенталандит, в том числе Ag-Pt-Pd-содержащий	$(\text{Fe,Ni})_9\text{S}_8$
Халькопирит	$(\text{CuFe})\text{S}_2$
Марказит	FeS_2
Кубанит	CuFe_2S_3
Виоларит	FeNi_2S_4
Марганцовистый сфалерит	$(\text{Zn}_{0.87}\text{Mn}_{0.13})\text{S}$
Селенистый галенит	$(\text{Pb}_{0.99}\text{Fe}_{0.03})_{1.02}(\text{S}_{0.77}\text{Se}_{0.21})_{0.98}$
Молибденит, в том числе Re-Pd-Au-содержащий	MoS_2
Киноварь	HgS
Дигенит	Cu_{2-x}S
Куприт	Cu_2O
<i>Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, селениды, сульфосоли</i>	
Сперрит	PtAs_2
Ирарсит	$(\text{Ir, Ru, Rh, Pt})\text{AsS}$
Арсенопирит	$(\text{Fe}_{0.9}\text{Ni}_{0.1})\text{AsS}$
Алтаит	$(\text{Pb}_{0.95}\text{Fe}_{0.13})_{1.08}\text{Te}_{0.92}$
Гессит	$(\text{Ag}_{1.94}\text{Cu}_{0.04})_{1.98}\text{Te}_{1.02}$
Ульманит	$(\text{Ni}_{0.87}\text{Co}_{0.07}\text{Fe}_{0.07}\text{Cu}_{0.01})_{1.02}\text{Sb}_{1.01}\text{S}_{0.97}$
Теллурувисмутит	$(\text{Bi}_{1.69}\text{Pb}_{0.23}\text{Fe}_{0.11}\text{Ag}_{0.04})_{2.07}(\text{Te}_{2.89}\text{Sb}_{0.02}\text{Se}_{0.01})_{2.92}$
Буланжерит	$(\text{Pb}_{4.64}\text{Cu}_{0.57}\text{Fe}_{0.28})_{5.44}(\text{Sb}_{3.92}\text{Sn}_{0.02})_{3.49}(\text{S}_{10.4}\text{Se}_{0.10})_{10.59}$
Клаусталит	$(\text{Pb}_{0.98}\text{Cu}_{0.02})_{1.0}(\text{Se}_{0.78}\text{S}_{0.27})_{1.0}$
Цинкосодержащий станнин	$\text{Cu}_{1.95}(\text{Fe}_{0.97}\text{Zn}_{0.11})_{1.08}\text{Sn}_{1.02}\text{S}_{3.95}$
Станнин	$\text{Cu}_{1.98}(\text{Fe}_{1.08}\text{Ni}_{0.01})_{1.09}\text{Sn}_{1.00}\text{S}_{3.94}$
Селенид палладия и платины (неназванный минерал)	$(\text{Pd}_{2.39}\text{Pt}_{0.53}\text{Fe}_{0.06})_{2.98}\text{Se}_{2.02}$
Тетраэдрит	$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$
Теллурантимонид палладия (тестибиопалладинит (?))	$(\text{Pd}_{0.88}\text{Fe}_{0.10}\text{Ni}_{0.08})_{1.06}(\text{Te}_{1.01}\text{Sb}_{0.89}\text{Bi}_{0.04})_{1.94}$
<i>Оксиды, вольфраматы, молибдаты, фосфаты и др.</i>	
Ильменит	FeTiO_3
Магнетит	Fe_3O_4
Рутил	TiO_2
Касситерит	SnO_2
Шеелит	Ca(W,Mo)O_4
Перовскит	$(\text{Ca,Ba,Sr})\text{TiO}_3$
Титанат бария	$(\text{Ba,Ca})(\text{Ti,Zr})\text{O}_4$
Титанат бария и висмута	$(\text{Ba,Bi})_{1-x}(\text{Ti,Nb})\text{O}_3$
Бадделиит	$(\text{Zr,Hf,Sc})\text{O}_2$
Циркон	$\text{Zr}[\text{SO}_4]$
Барит	$\text{Ba}[\text{SO}_4]$
Монацит	$(\text{Ce,L,Nd,Th,Y,Gd,Sm})\text{PO}_4$
Апатит	$\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F,Cl})$

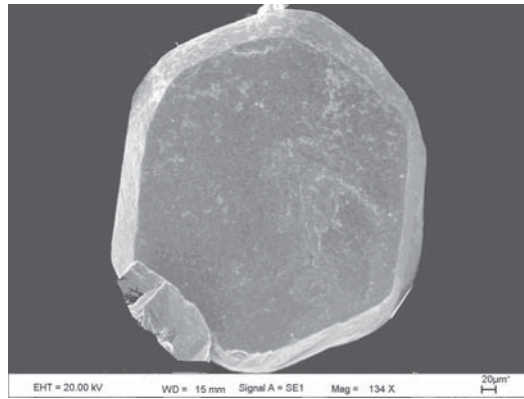


Растровые электронно-микроскопические фото в обратно-рассеянных электронах зерен минералов платиновой группы из черных сланцев КМА: а-г – полированные шлифы из зерен. PRV-перовскит



Морфология рутениридосминов: уплощённая (а, б) и объёмной (в).

Рис. 10. Морфология и структура минералов ЭПГ

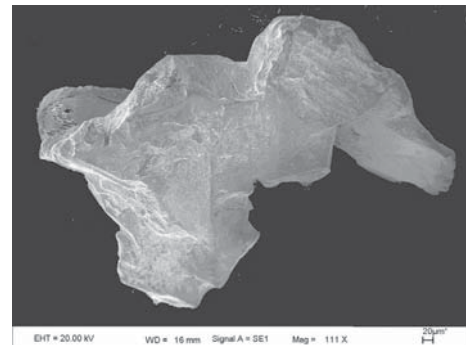
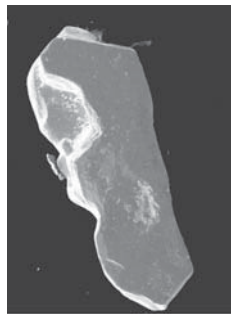
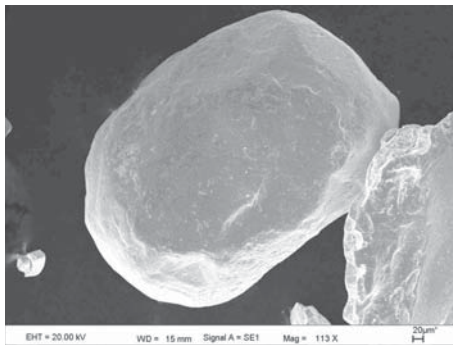


Кристалл рутеносмиридина

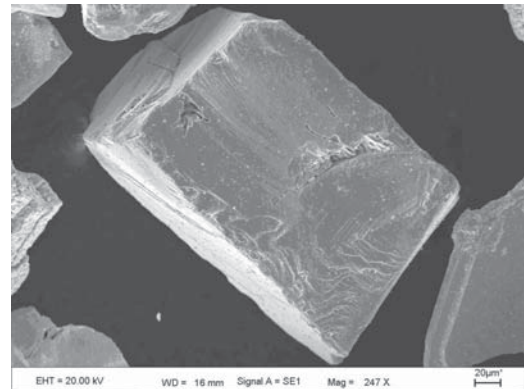
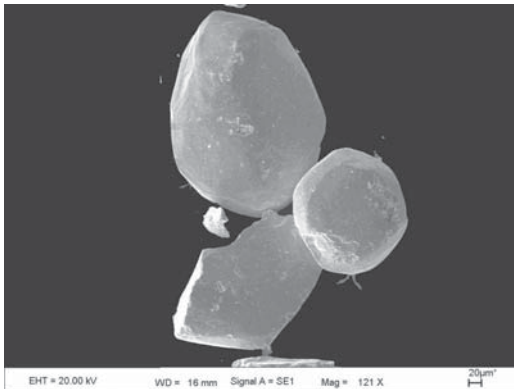
а

б

в

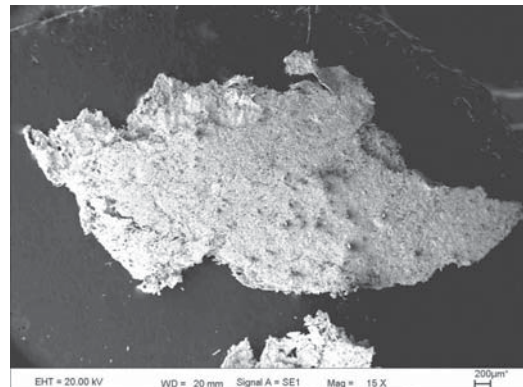
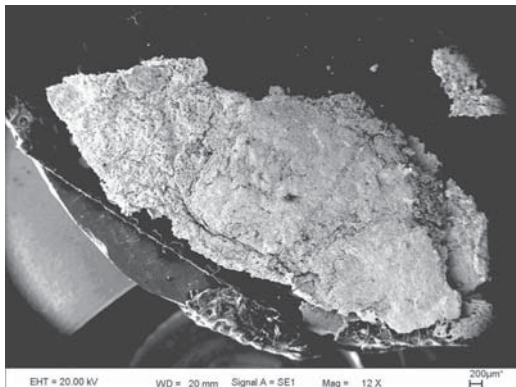


Морфология кристаллических зерен с повышенным содержанием осмия (а), и иридия (б, в)



Морфология зерен шпинелита

Рис. 11. Морфология и структура минералов ЭПГ



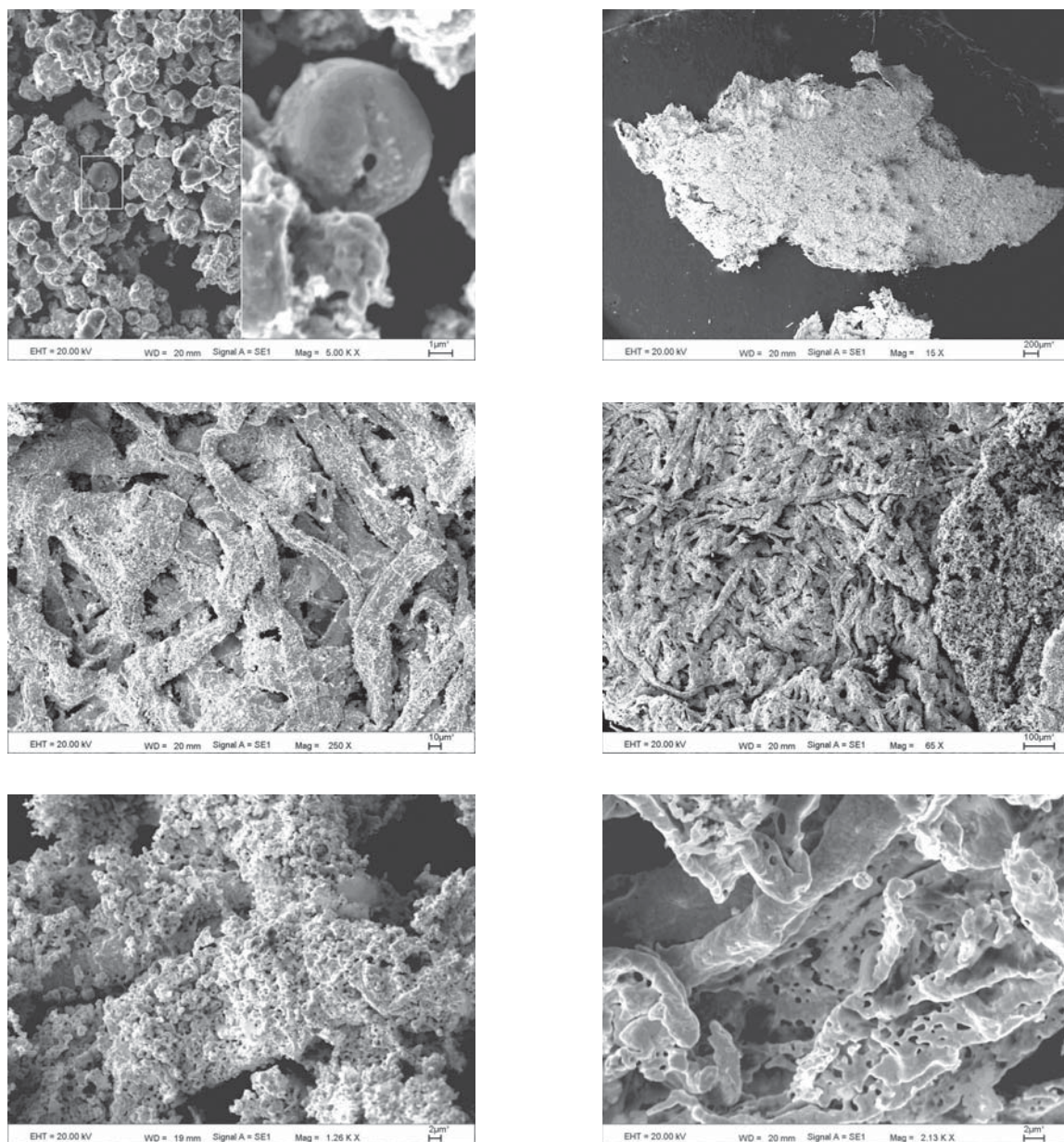


Рис. 12. Морфология и микроструктура платины

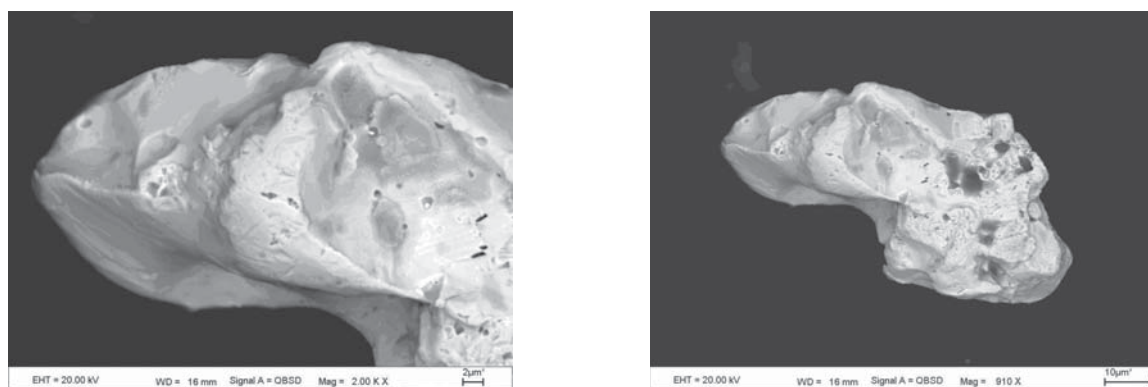


Рис. 13. Морфология самородного золота

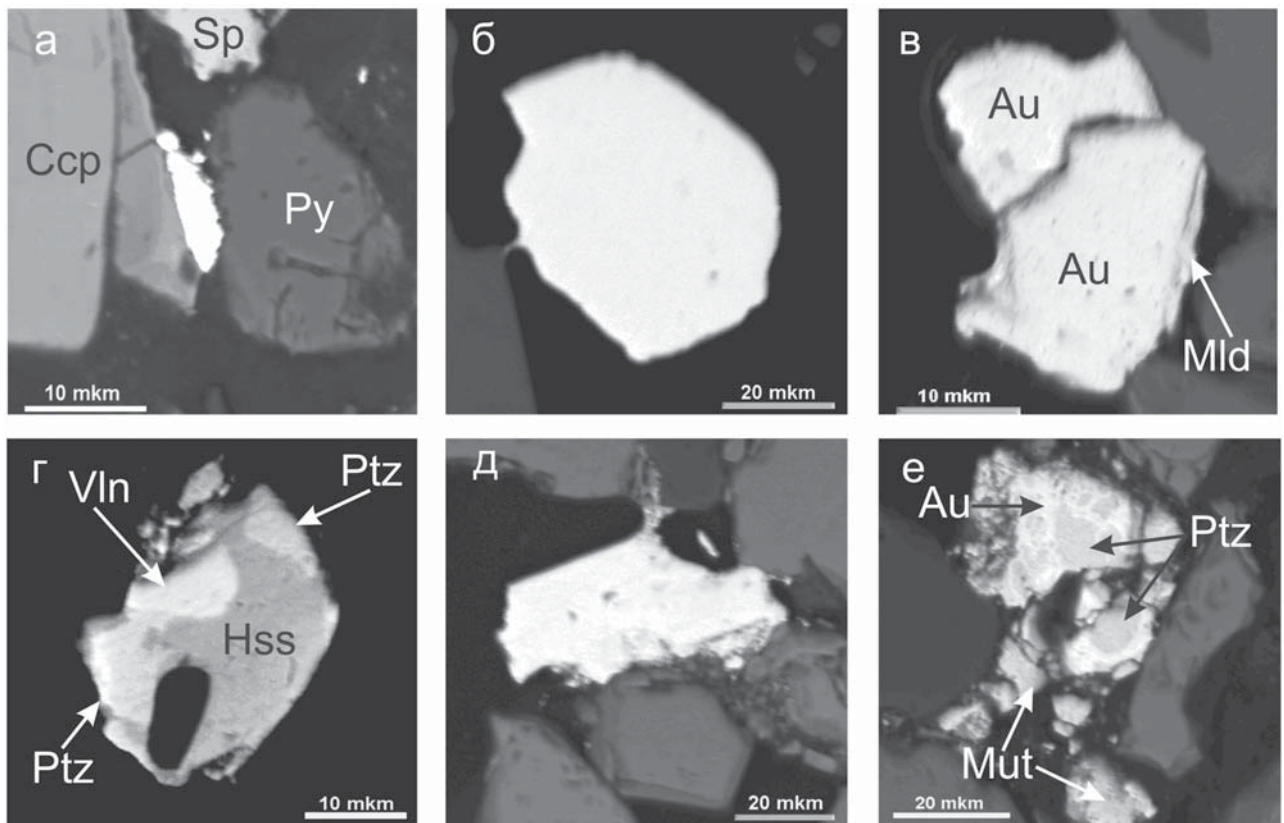


Рис. 14. Формы выделения самородного золота и сопутствующих минералов из тяжелой фракции концентрата минералогических проб внутрирудных амфиболсодержащих сланцев: а) пластинчатое золото в сростании с халькопиритом (Ccp) на границе с пиритом (Py), вверху светло-серое зерно сфалерита (Sp); б) зерно высокопробного самородного золота; в) сростание самородного золота (Au) различного состава (сверху золотина с пробностью 955 ‰, а внизу – 819 ‰), на периферии более низкопробного зерна оторочка мальдонита (Mld); г) сросток теллуридов благородных металлов петцита (Ptz), гессита (Hss) и вольтинскита (Vln); д) кристалл сильванита (в центре); е) замещение петцита самородным золотом и мутманнитом (Mut)

2. Источники и модель формирования благороднометалльного оруденения

Комплекс структурно-вещественных признаков по закономерностям размещения, идентичности минерального состава, формам нахождения ЭПГ, Au в железистых кварцитах, углеродистых сланцах и вулканитах, близкие соотношения стабильных изотопов С, О, S и другим параметрам (в том числе числовыми характеристиками по РТ-условиям [16, 17, 19, 20, 21] образования силикатных и рудных минеральных парагенезисов) свидетельствуют о формировании курского, тимского, старооскольского и кшенского типов как единой благороднометалльной рудообразующей системы в условиях сопряженной длительной деятельности нескольких разнородных источников рудного вещества [11, 16, 20, 21, 25]: а) экзогенного (осадочно-хемогенного); б) флюидно-магматогенного в связи с многоактным разноглубинным

проявлением вулcano-интрузивного магматизма с нарастающей щелочностью и флюидонасыщенностью; в) метаморфогенного с экстракцией рудного вещества из субстрата и его мобилизацией в процессе функционирования глубинных флюидно-магматогенных очаговых зон и проявления регионального метаморфизма и гидротермально-метасоматических процессов. В совокупности эти источники (рис. 15) определяют принадлежность золото-платинометалльного оруденения в железистых кварцитах и пространственно совещенных с ними углеродистых сланцах рудных районов к полигенной и полихронной рудообразующей системе мегаблока КМА [3, 5, 8, 10, 11, 16, 19, 20, 21 и др.].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-05-00158 и 12-05-10013) и ФЦП Минобрнауки 1.1 №14.В37.21.0585 и 1.2.1 №14.В37.21.1253



Рис. 15. Источники поступления рудного вещества при формировании благородно-металльного оруденения в железистых кварцитах, сланцах и метасоматитах рудных районов КМА

ЛИТЕРАТУРА

1. Буряк В. А. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ / В. А. Буряк, Б. К. Михайлов, Н. В. Цымбалюк // Руды и металлы. – 2002. – № 6. – С. 25–36.
2. Двойнин В. В. Золотоносность железистых кварцитов курской серии КМА / В. В. Двойнин, Е. И. Дунай, И. И. Воевода // Разведка и охрана недр. – 1993. – № 9. – С. 12–14.
3. Додин Д. А. Платинометалльные месторождения России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, Б. А. Яцкевич. – СПб.: Наука, 2000. – 755 с.
4. Додин Д. А. Металлогения платиноидов крупных регионов России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, О. И. Чередникова. – М.: ОАО Геоинформмарк, 2001. – 302 с.
5. Додин Д. А. Углеродсодержащие формации – новый крупный источник платиновых металлов XXI века / Д. А. Додин. – М.: Геоинформмарк, 2007. – 130 с.
6. Железные руды КМА / под ред. В. П. Орлова. – М.: Геоинформмарк, 2001. – 616 с.
7. 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.
8. Созинов Н. А. Металлоносные черные сланцы Курской магнитной аномалии / Н. А. Созинов, Н. Н. Чистякова, В. А. Казанцев. – М.: Наука, 1988. – 149 с.
9. Тигунов Л. П. Проблемы и перспективы попутного получения благородных металлов из нетрадиционных источников минерального сырья / Л. П. Тигунов, Л. З. Быховский // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов: матер. Всерос. симпозиума. – М., 2002. – С. 381–384.
10. Холин В. М. Геология, геодинамика и металлогения раннепротерозойской структуры КМА: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук / В. М. Холин. – Воронеж, 2001. – 24 с.
11. 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. Серия: Геология. – 1996. – № 1. – С. 114–132.
12. Чернышов Н. М. Формационно-генетическая типизация месторождений металлов платиновой группы для целей прогноза и металлогенического анализа / Н. М. Чернышов, Д. А. Додин // Геология и геофизика. – 1995. – Т. 36, № 1. – С. 65–70.
13. Чернышов Н. М. Формационно-генетическая типизация платинометалльного оруденения и перспективы наращивания минерально-сырьевого потенциала платиновых металлов России / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. ун-та. Серия: Геология. – 1996. – Вып. 2. – С. 75–85.
14. Чернышов Н. М. Первые находки минеральных форм элементов платиновой группы в железистых кварцитах КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Докл. РАН. – 2003. – Т. 391, № 1. – С. 104–107.
15. Чернышов Н. М. Особенности распределения и формы нахождения благородных металлов в железистых

кварцитах Михайловского месторождения КМА и их техногенных продуктах (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, С. В. Петров, С. П. Молотков // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2003. – № 1. – С. 93–104.

16. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.

17. Чернышов Н. М. Новые минеральные формы платиноидов и золота в железистых кварцитах Лебединского месторождения КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, С. В. Петров // Докл. РАН. – 2006. – Т. 408, № 4. – С. 586–589.

18. Чернышов Н. М. Новые минералы платиноидов в черносланцевых комплексах тимского типа (КМА) / Н. М. Чернышов, В. Г. Моисеенко, В. В. Абрамов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2007. – № 2. – С. 152–158.

19. Чернышов Н. М. Благороднометаллосодержащие парагенезисы сульфидов и их аналогов в железорудных месторождениях КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2007. – № 1. – С. 101–114.

20. Чернышов Н. М. Золото-платинометалльное оруденение черносланцевого типа Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2007. – 177 с.

21. Чернышов Н. М. Минералы благородных в рудах черносланцевого типа Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Зап. РМО. – 2009. – СХХХVI. – № 1. – С. 36–51

22. Чернышов Н. М. Новые данные о минеральном составе благороднометалльного оруденения Стойленского железорудного месторождения КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, В. С. Кузнецов, С. В. Петров // Доклады РАН. – 2009. – Т. 428, № 6. – С. 801–804.

23. Чернышов Н. М. Типы и минеральный состав золото-платинометалльного оруденения железорудных месторождений-гигантов КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Докл. РАН. – 2010. – Т. 430, № 3. – С. 395–399.

24. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Воронежского кристаллического массива и их место в общей модели формирования докембрийской литосферы (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова // Платина России : сборник научных трудов. – Красноярск, 2011. – Т. VII. – С. 161–181.

25. Чернышов Н. М. Роль первичных источников (продуцентов) при формировании благороднометалльного оруденения в железорудных месторождениях КМА. / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2012. – № 1. – С. 108–115.

26. Чернышов Н. М. Новые данные о формах нахождения благородных металлов в коре выветривания железистых кварцитов Михайловского месторождения КМА (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов, М. М. Понамарева // Докл. РАН. – М. : Наука, 2012. – Т. 443, № 3. – С. 1–5.

27. Шелехов А. Н. Месторождения железистых кварцитов и продукты их передела – новый перспективный источник золото-платинометалльного сырья в XXI в. (на примере Центральной России) / А. Н. Шелехов, В. А. Лючкин, Ю. С. Ляховкин // Платина России. – М. : 1999. – Т. III, кн. 2. – С. 289–294.

Воронежский государственный университет

Н. М. Чернышов, член-корреспондент Российской академии наук, заслуженный деятель науки РФ, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой минералогии и петрологии ВГУ, руководитель НОЦ «Геология рудных месторождений Центральной России» ВГУ-ИГЕМ РАН

Тел. 8 (473) 220-86-81

petrology@list.ru

Voronezh State University

N. M. Chernyshov, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honored Researcher of RF, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of Department of Mineralogy and Petrology at Voronezh State University (VSU), Head of Centre for Research and Education “Geology of ore deposits of Central Russia” at VSU-IGEM RAS

Tel. 8 (473) 220-86-81

petrology@list.ru