УДК 549.27:552.4:553.8 (470.324)

Н. М. Чернышов

СТРУКТУРНО-ВЕЩЕСТВЕННЫЕ И МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ЗОЛОТО-ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТАХ И ЧЕРНЫХ СЛАНЦАХ К ЕДИНОЙ РУДООБРАЗУЮЩЕЙ СИСТЕМЕ

Приведены новые данные по благороднометалльносодержащим структурно-вещественным комплексам палеопротерозоя и их парагенезисам в двух пространственно разобщённых и разных по составу вмещающих их железистых кварцитов и черных сланцев рудных районов КМА. Установлен многостадийный характер формирования благороднометаллльного оруденения; определен однотипный состав минеральных фаз в железистых кварцитах, сланцах и метасоматитах, свидетельствующий о принадлежности их к единой длительно развивавшейся рудообразующей системе. Приведена обобщённая модель формирования благороднометаллльной рудообразующей системы в условиях различных по генетической принадлежности источников вещества.

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

UDK 549.27:552.4:553.8 (470.324)

N. M. Chernyshov

STRUCTURAL-MATERIAL AND MINERALOGICAL CRITERIA OF BELONGING OF GOLD-PLATINOID ORES IN FERRUGINEOUS QUARTZITES AND BLACK SHALES TO A SINGLE ORE-FORMING SYSTEM

New data on the paleoproterozoic noble metal bearing structural-material complexes and their parageneses in two spatially separated and different in composition of enclosing ferrugineous quartzites and black shales ore districts of KMA are presented. A multi-stage character of the formation of noble-metal types of ores is established; the same type of composition of the mineral phases in the ferruginous quartzites, shales and metasomatites is determined, what is indicating it as a part of a single long developing ore-forming system. The generalized model of the formation of the noble metal bearing ore-forming system in case of a genetically variable sources of material is given.

Keywords: *noble metals, mineralogy, iron ores, carbonaceous shales, types of mineralization, ore-forming systems, model of formation.*

Введение

Благородные металлы являются важнейшим стратегическим сырьем и основой для наиболее перспективных направлений использования новейших технологий. Многообразие сфер использования и последовательное возрастание потребления платиноидов и золота, характеризующихся, вместе с тем, крайне низким содержанием в земной коре, 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 и ассоциирующих с ними черных сланцев древних платформ и щитов всех континентов мира [6].

1. Структурно-вещественные критерии размещения благороднометаллльного в железистых кварцитах и черных сланцах КМА

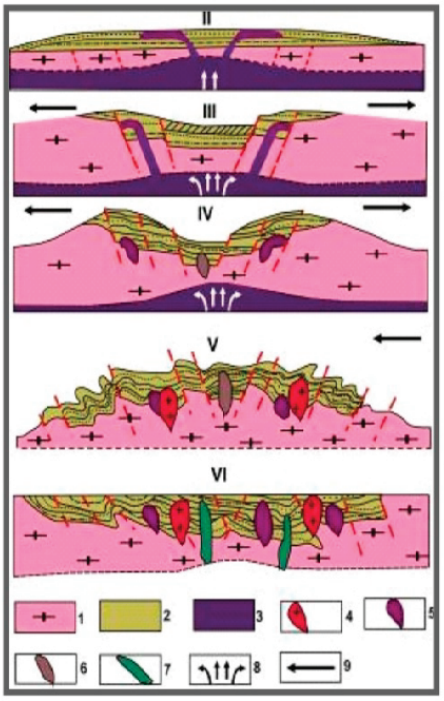
Железистые кварциты и сланцы с золото-платинометаллльной минерализацией установлены в составе всех структурно-вещественных комплексов (СВК) мезо- и неоархейских зеленокаменных поясов КМА и пространственно совмещённых с ними

сложных по своей геодинамической природе и составу палеопротерозойских структур, определяя, тем самым, высокий золото-платиноносный потенциал Воронежского кристаллического массива (ВКМ) — этого крупного (600х1000 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 структуры КМА, наибольший промышленный интерес представляет золото-платинометалльное оруденение, ассоциирующее с железистыми кварцитами, межрудными сланцами курской серии и, прежде всего, с углеродистыми сланцами и метосоматитами оскольской серии [16, 20]. В современном варианте они представляют собой сложные дискордантные интракратонные складчато-глыбовые структуры, пространственно совмещённые с неоархейскими коматиитсодержащими зеленокаменными поясами [16].

Структура КМА

Геодинамические этапы формирования раннепротерозойской структуры КМА(по [13])



Тип геодинамического режима	Структурно-вещественные комплексы	Рудообразующие системы
Протоплатформенный	Курская железорудня 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); золотосодержащая 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), малиниский гранитный; андезиты глазуновской свиты	1)Золото-сульфидно-кварцевая (платиносодержащая) и галенит-сфалеритовая; 2) грейзеновая касситерит-силикатная; 3) редкоземельная уран-ториевая; 4) полиметаллическая; 5) редкометалльная (в сподуменовых пегматитов); 6) золото-платинометалльная колчеданная в метасоматитах; 7) золото-платиносодержащая в стратифицированных толщах (глазуновская свита)
Раннеплатформенный (VI)	Трапповая формация (смородинский комплекс; 2060±10 млн. лет); щелочные субультрамафитовы с карбонатитами (дубравинский комплекс)	1) Платиносодержащая титаномагнетитовая с ванадием; 2) малосульфидная платинометалльная; 3) сульфидная платиноидно-медно-никелевая; 4) апатит-магнетитовая платиносодержащая в карбонатитах и др.

Рис. 1. Геодинамика и минерагения раннепротерозойского этапа (по [10], с дополнениями):

1 — протокора серогнейсового состава; 2 — ассоциация пород стадии рифтогенеза; 3 — подкоровый слой верхней мантии; 4 — коллизионные гранитоиды; 5 — базальты повышенной щелочности; 6 — базальтоиды нормальной щелочности; 7 — траппы; 8 — векторы тепломассопереноса; 9 — векторы тектонического напряжения

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 вулкано-плутонических 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), P, B, 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 (курский и старооскольский типы); углеродистых осадочных и вулканогенно-осадочных образованиях оскольской серии и их метасоматитах (тимской и кшенский типы).

По условиям локализации, морфологии и масштабам рудных залежей, особенностям их минерализации, содержаниям благородных металлов и промышленной значимости выделены шесть типов [9, 12, 13, 16, 23, 27] (табл. 1).

Таблица 1

Генетические типы и закономерности размещения золото-платинометаллльного оруденения в железистых кварцитах и черных сланцах КМА

Структурно-вещественный контроль оруденения	Содержание Au, Pt, Pd (г/т).	Тип минерализации	Морфология рудных залежей	Возможное практическое применение
1	2	3	4	5
1. Осадочно-метаморфогенный				
Обширные площади развития железистых кварцитов и углеродистых сланцев в палеопротерозойских рифтогенных структур	Низкие (фоновые) Au=0,02—0,12 ЭПГ до 0,05	Рассеянный	Пластовые залежи железистых кварцитов и углеродистых сланцев (Михайловское, Лебединское, Стойленское железорудные месторождения, Луневско-Введенское, Тимское рудопроявления Au и МПГ)	Попутное извлечение из продуктов переработки железных руд
2. Метаморфогенно-метасоматический				
Зоны контакта углеродсодержащих сланцев с кварцитами; углеродистые 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 Михайловское, Лебединское, Стойленское железорудные месторождения); проработанные гидротермально-метаморфогенным флюидом углеродистые сланцы (Луневско-Введенское, Тимское рудопроявления Au и МПГ)	Самостоятельные золото-платиноидные объекты для селективной отработки

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
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 жилообразные тела мощностью до 3—5 м и протяжённостью первые сотни метров среди железистых кварцитов (Михайловское, железорудное месторождение) и углеродистых сланцев (Кшенское рудопроявление)	Самостоятельные, преимущественно золоторудные объекты для селективной отработки
4. Гипергенно-метасоматический				
Зоны развития линейных кор выветривания железистых кварцитов (богатые мартитовые руды)	Au=0,64—4,30 иногда до 41,7 ЭПГ=0,10	Концентрированный	Разнообразные по масштабам линзо- и жилообразные секущие тела в «карманах» кор выветривания (Михайловское, Лебединское, Стойленское железорудные месторождения)	Самостоятельные платиносодержащие золоторудные объекты для селективной отработки
5. Осадочный				
Базальные горизонты зон несогласий (докембрий-фанерозой), перекрывающие богатые мартитовые руды	Au=0,53 Pt=0,15 Pd=1,70 РЗЭ=556,3 U=12,2—23,6	Концентрированный	Пластовые тела сульфидизированных органогенных пород девона («фосфо-ритовая плита» мощностью от 1 и более метров) в кровле железорудных месторождений (Михайловское, железорудное месторождение)	Самостоятельные уран-редкоземельно-благороднометалльно-содержащие объекты во вскрышных породах (селективная отработка)
6. Техногенный				
Продукты-хвосто-отвалы 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 ГОКов.	Самостоятельные платино-золоторудные объекты

Одним из наиболее крупных по ресурсам Au и ЭПГ является метаморфогенно-метасоматический (стратиформный) тип в углеродсодержащих сланцах, наиболее полно проявившийся в пределах Михайловского железорудного района (рис. 2, 3) и в меньшей мере — Старооскольского района.

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 старооскольский типы), перекрывающей курскую. Оруденение **тимского типа**, сосредоточенное, преимущественно, в крупной (протяжённость 130 км при ширине 30—50 км) Тим-Ястребовской структуре КМА (рис. 4) характеризуется: а) локализацией 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, высо-

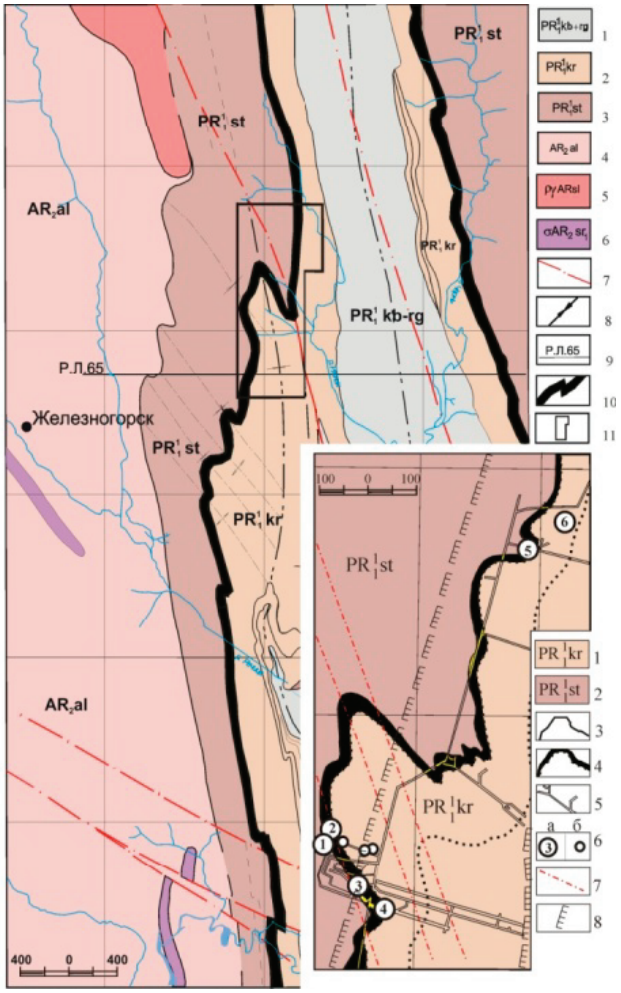


Рис. 2. Положение золото-платиноносной зоны стратиформного типа Михайловского рудного узла:

1 — курбакинская и роговская свиты (PR11kb-rg); 2 — коробковская свита (PR11kr): 3 — стойленская свита (PR11st); 4 — верхний архей, александровская свита (Ar2al); 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

кими концентрациями (1.5—34.6 г/т) ЭПГ и Au, отчетливой корреляционной связью их с C, S и рядом петрогенных и малых (Ni, Cu, Co, Cr, Zn, Ti, V, P и др.) элементов, преимущественно базальтоидным типом распре-

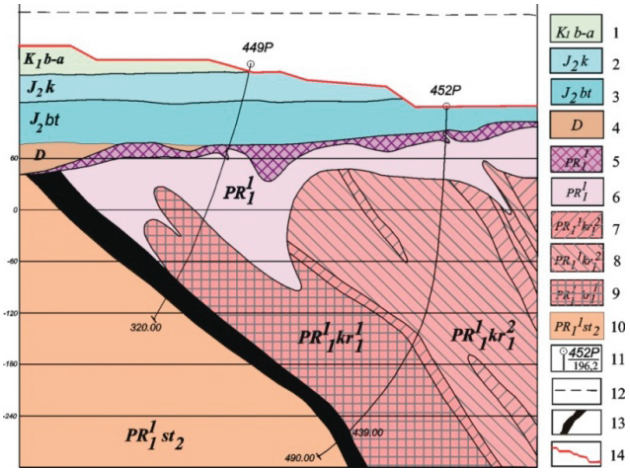


Рис. 3. Положение золото-платиноносной рудовмещающей зоны стратиформного типа в разрезе Р-65 Михайловского месторождения:

1—10 — геолого-стратиграфические образования: 1 — нижнемеловые отложения; 2—3 — среднеюрские 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

деления 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 (рудовмещающих) породах [11, 18, 20, 21].

Наиболее значимым рудопроявлением гидротермально-метасоматического типа является кшенское, приуроченное к Тим-Ястребовской структуре. 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. 5). Характерными особенностями кшенского типа оруденения являются [4, 5, 11, 16, 20, 21]: а) отчётливая пространственно-временная связь золото-платиносодержащих руд с зонами повышенной сульфидной минерали-

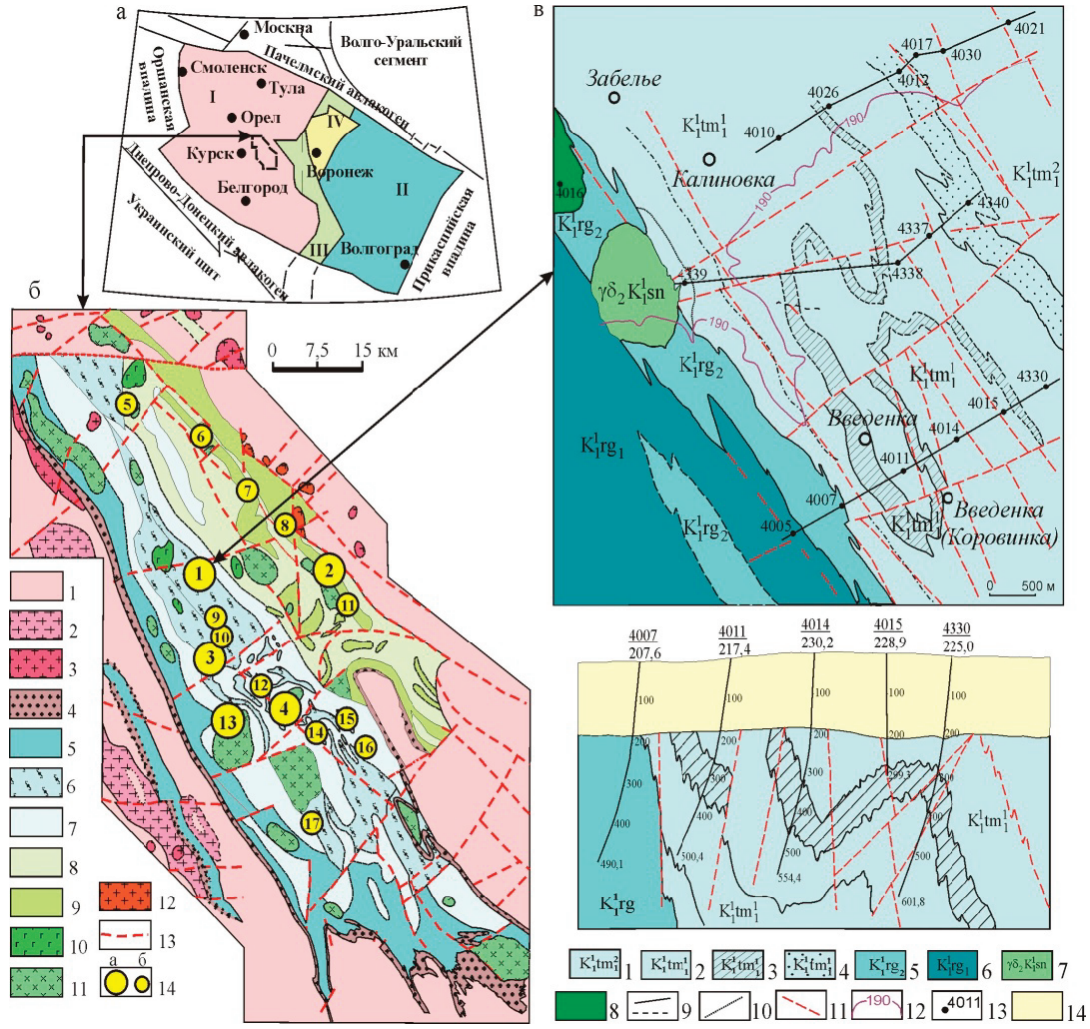


Рис. 4. Схематическая геологическая карта Тим-Ястребовской золото-платиноносной структуры ВКМ (б), ее местоположение на ВКМ (а) и геологическая схема Луневско-Введенского участка центральной части Тим-Ястребовской структуры с разрезом (в):

а) I — мегаблок КМА; II — Хоперский мегаблок; III — Лосевская шовная зона; IV — Ольховско-Шукавская грабенсинклиналь; многоугольником обозначено местоположение Тим-Ястребовской структуры; б) 1 — обоянский плутоно-метаморфический комплекс (AR1ob; плагиогнейсы, прослои и линзы амфиболитов, прослои кварцитов); 2 — салтыковский комплекс мигматит-плагиогранитовый (AR2sl; плагиограниты, тоналиты, гранодиориты); 3 — атамановский комплекс умеренно-щелочных гранитов (AR2a; граниты умеренно щелочные плагиоклаз-микроклиновые); 4—12 — раннекарельские образования: 4 — курская серия (K1ks; кварцито-песчаники, сланцы, железистые кварциты); 5—9 — оскольская серия: 5 — роговская свита (K1rg; карбонатные сланцы, кварц-биотитовые сланцы, доломиты, известняки); 6—9 — тимская свита, нижняя и верхняя подсвиты: 6—7 — нижняя тимская подсвита (K1tm1): 6 — существенно терригенная: углеродистые сланцы, метапесчаники, метаалевролиты; 7 — вулканогенно-терригенная: ортосланцы основного и среднего состава, амфиболиты, углеродистые сланцы; 8—9 — верхняя тимская подсвита (K1tm2): 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-габброноритовый комплекс (K1z); 11 — стойло-николаевский диорит-гранодиоритовый комплекс (K1sn); 12 — малиновский гранитный комплекс (K1m); 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 — Крутоверховское; в) 1 — нижнетимская подсвита, верхняя толща: ортосланцы по породам основного состава (амфиболовые, актинолит-амфиболитовые сланцы) амфиболиты; 2—4 — нижнетимская подсвита: 2 — горизонт углеродсодержащих кварц-биотовых сланцев с прослоями кварцитовидных песчаников, метапесчаников, карбонатных пород умеренно сульфидизированных, гранатсодержащих; 3 — горизонт углеродистых кварц-плагиоклаз-слюдистых золото-платиносодержащих сланцев с широким развитием карбонатных, карбонат-амфиболовых пород, тремолититов, доломитов с повышенным содержанием сульфидов; 4 — горизонт черных, темно-серых углеродистых кварц-биотовых 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

зации, определяющая принадлежность оруденения к сульфидно-вкрапленному типу с ведущей ролью пирит-пирротинового и арсенопирит-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 случаях до 18000 мг/т) и Pd (50—100 мг/т, иногда до 400 мг/т); в) значительная аналогия по геолого-структурному 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]).

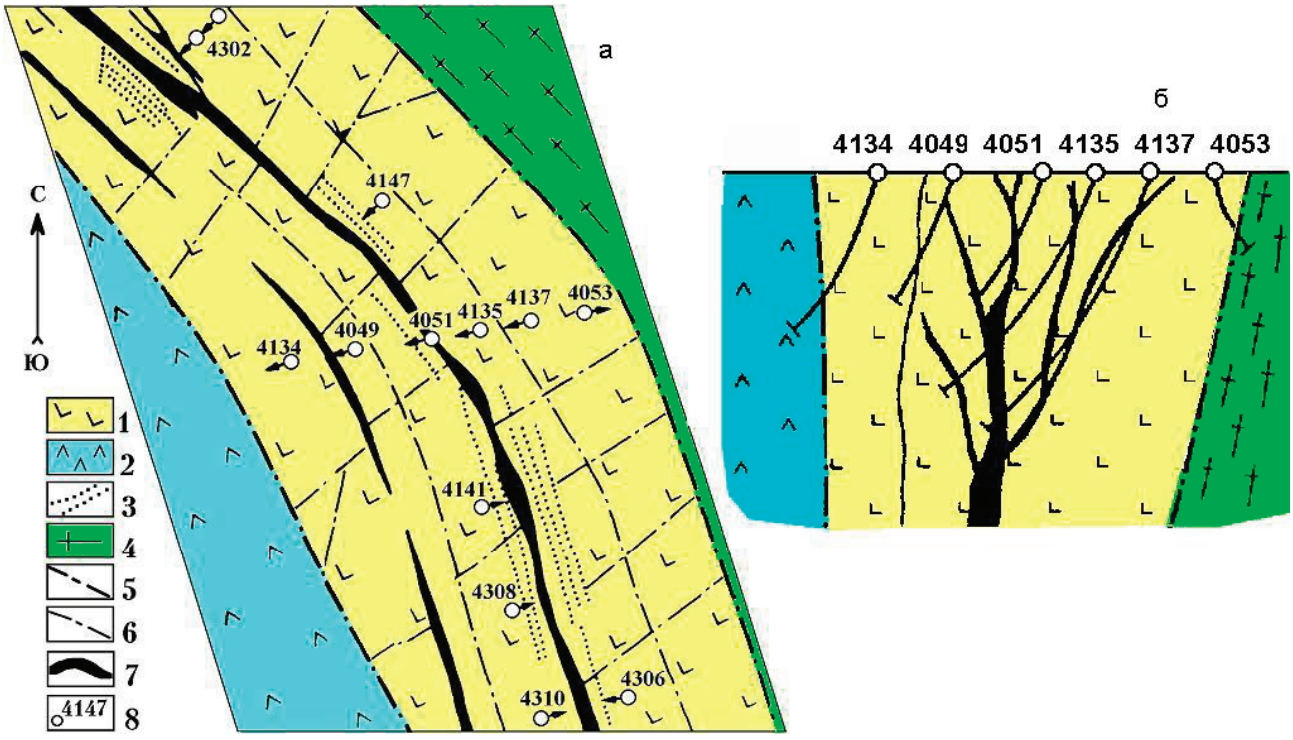


Рис. 5. Схема геологического строения (а) и геологический разрез (б) Кшенского рудопроявления:

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

2. Минералогические критерии принадлежности благороднометалльного оруденения в железистых кварцитах и черных сланцах КМА к единой рудообразующей системе.

При разработке технологии комплексного освоения и глубокой переработки руд стратегически важных благородных металлов особое значение имеет выявление минеральных и иных форм их нахождения.

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 железистых кварцитах и черных сланцах КМА.

Золото-платинометалльное оруденение в железистых кварцитах и черных сланцах КМА характеризуется сложным полиминеральным (более 60 минералов) и многокомпонентным составом. Определяющими особенностями благороднометалльного оруденения в железистых кварцитах и межрудных сланцах курской серии являются: а) многообразие форм концентрирования и широкое развитие (около 60; см. табл. 2, 3) 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, спла-

вы Pd-Ag-Cu, Bi-Te-Pd, Au-Cu-Ag, минералы ряда Ru, Ir, Os, Pt, Pd), сульфидов (прассоит, маккинстриит), сульфоарсенидов, теллуридов, висмутидов (мончеит, сперриллит, петцит, гессит, креннерит, цуманит, сильванит, волынскит, 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 [15, 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 гидрооксидов, карбонатов и сульфатов Fe, Ba, а также шеелита, монацита, циркона.

Таблица 2

Рудные минералы золото-платинометаллльного оруденения в железорудных месторождениях КМА [2, 7, 14, 16, 17, 18, 22, 26].

Самородные металлы, металлические твердые растворы и интерметаллические соединения	
1	2
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	$Os_{0,55}Ir_{0,34}(Ru_{0,11})$
Невьянскит	$Ir_{0,53}Os_{0,43}(Fe_{0,02}Ni_{0,01}Rh_{0,004})$
Сульфиды	
Прассоит	$(Rh_{16,45}Pt_{0,61}Ru_{0,43})_{17,49}S_{15,00}$
Маккинстриит	$(Ag_{1,15}Au_{0,10}Fe_{0,10}Cu_{0,66})_{2,01}S$
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	$Cu_2S \cdot CuS_2$
Пенталандит	$(Fe, Ni)_9S_8$

Окончание табл. 2

1	2
Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, висмутиды, сульфосоли	
Мончеит	$(Pt_{0,994}Pd_{0,026}(Bi_{0,063}Te_{1,937})_{2,00}$
Сперрилит	$(Pt_{1,01}Fe_{0,02})_{1,03}(As_{1,91}S_{0,09})_{2,00}$
Петцит	$1.(Ag_{3,09}Au_{1,03})_{4,12}Te_{2,00}$; $2.(Ag_{3,01}Au_{0,96})_{3,97}Te_{2,00}$; $3.(Ag_{2,99}Au_{1,04})_{4,03}Te_{2,00}$
Гессит	$1.(Ag_{1,99}Au_{0,03})_{2,02}(Te_{0,96}Bi_{0,04})$; $2.\ Ag_{2,01}Te_{1,00}$
Креннерит	$(Au_{0,85}Ag_{0,16})_{1,01}Te_{2,00}$
Цуманит	$Au_{0,85}\ Te_{0,51}Bi_{0,48}$
Сильванит	$1.(Au_{0,55}Ag_{0,46})_{1,01}Te_2$; $2.(Au_{0,72}Ag_{0,32})_{1,04}Te_2$
Волынскит	$(Ag_{1,03}Bi_{1,01})_{2,04}Te_2$
Мутманнит	$(Au_{0,97}Ag_{1,02})_{1,99}Te_2$
Мальдонит	$(Au_{1,98}Ag_{0,14})_{2,12}Bi_{1,00}$
Алтаит	$1.\ Pb_{1,04}Te_{1,00}$; $2.\ Pb_{1,00}(Te_{0,94}S_{0,06})_{1,00}$
Лиллианит	$Pb_{3,00}Bi_{2,10}S_{6,00}$
Висмутин	$Bi_{2,04}S_{2,96}Cu_{0,04}$
Хедлиит (Pt-содержащий)	$Te_{3,00}Bi_{6,95}$
Жозеит-А	$1.\ Te_{1,00}\ S_{2,02}Bi_{3,68}$; $2.\ Te_{1,07}\ S_{1,90}(Bi_{4,01}\ Cu_{0,10})_{4,11}$
Тетрадимит	$1.(Te_{2,04}S_{1,00})_{3,04}\ Bi_{2,00}$; $2.(Te_{2,00}S_{1,00})_{3,00}\ Bi_{2,00}$
Арсенопирит (Pt-содержащий)	FeAsS
Теннантит	$Cu_{12}As_4S_{13}$
Тетраэдрит	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$
Никелистый кобальтин-герсдорфит (Pd-содержащий)	$1.(Co_{0,67}\ Ni_{0,27}\ Pd_{0,04}\ Fe_{0,02})AsS$; $2.\ Co_{0,68}\ Ni_{0,22}\ Fe_{0,07}Pd_{0,03}$
Герсдорфит (Pd-содержащий)	$(Ni_{0,84}Co_{0,09}Fe_{0,08}Pd_{0,02})AsS$
Лёллингит никельсодержащий	$(Fe_{0,82}\ Ni_{0,18})As_2$

Оксиды, гидрооксиды и др.			
Магнетит	Fe_3O_4	Лимонит	$FeO(OH)\cdot nH_2O$
Гематит	Fe_2O_3	Лепидокрокит	FeO(OH)
Ильменит	$FeTiO_3$	Сидерит	$Fe[CO_2]$
Рутил	TiO_2	Ярозит	$Fe_3(OH)_6[SO_4]_2$
Касситерит	SnO_2	Барит	$Ba[SO_4]$
Уранинит и настуран	U_2UO_7	Шеелит	$Ca(W, Mo)O_4$
Бадделеит	ZrO_2	Монацит	$(Ce, La)PO_4$
Гетит	FeO (OH)	Циркон	$Zr[SO_4]$

Золото-платинометалльное оруденение тимского и кшенского типов характеризуется наличием (табл. 3): 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 ртуть-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), теллуровисмутите (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) опредеяют необходимость разработки принципиально новых экологически безопасных технологий извлечения всего комплекса металлов [18].

Таблица 3

Минералы золото-платинометалльного оруденения черносланцевого типа ВКМ

Самородные металлы	
1	2
Золото	Au
Палладий	Pd
Платина	Pt
Осмий	Os
Медь	Cu
Серебро	Ag
Металлические твердые растворы и интерметаллические соединения	
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	$Au_{0.53}Ag_{0.29}Te_{0.07}Hg_{0.02}$
Амальгама 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)
Сульфиды	
Пирит	FeS_2
Ni-Cu-пирит	$(Fe, Cu, Ni)S_2$
Ni-Co-пирит	$(Fe, Ni, Co)S_2$
Макинавит	$(Fe_{7.86}Ni_{0.89}Co_{0.04}Cu_{0.13}Zn_{0.02})_{8.94}S_{8.06}$
Пирротин	$Fe_{1-x}S$
Ni-пирротин	$(Fe, Ni)_{1-x}S$
Пенталандит, в том числе Ag-Pt-Pd-содержащий	$(Fe, Ni)_9S_8$
Халькопирит	$(CuFe)S_2$
Марказит	FeS_2
Кубанит	$CuFe_2S_3$
Виоларит	$FeNi_2S_4$
Марганцовистый сфалерит	$(Zn_{0.87}Mn_{0.13})S$
Селенистый галенит	$(Pb_{0.99}Fe_{0.03})_{1.02}(S_{0.77}Se_{0.21})_{0.98}$
Молибденит, в том числе Re-Pd-Au-содержащий	MoS_2
Киноварь	HgS
Дигенит	$Cu_{2-x}S$
Куприт	Cu_2O
Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, селениды, сульфосоли	
Сперрилит	$PtAs_2$
Ирарсит	(Ir, Ru, Rh, Pt)AsS
Арсенопирит	$(Fe_{0.9}Ni_{0.1})AsS$
Алтаит	$(Pb_{0.95}Fe_{0.13})_{1.08}Te_{0.92}$
Гессит	$(Ag_{1.94}Cu_{0.04})_{1.98}Te_{1.02}$
Ульманит	$(Ni_{0.87}Co_{0.07}Fe_{0.07}Cu_{0.01})_{1.02}Sb_{1.01}S_{0.97}$

Окончание табл. 3

1	2
Теллуровисмутит	$(Bi_{1.69}Pb_{0.23}Fe_{0.11}Ag_{0.04})_{2.07}(Te_{2.89}Sb_{0.02}Se_{0.01})_{2.92}$
Буланжерит	$(Pb_{4.64}Cu_{0.57}Fe_{0.28})_{5.44}(Sb_{3.92}Sn_{0.02})_{3.49}(S_{10.4}Se_{0.10})_{10.59}$
Клаусталит	$(Pb_{0.98}Cu_{0.02})_{1.0}(Se_{0.78}S_{0.27})_{1.0}$
Цинкосодержащий станнин	$Cu_{1.95}(Fe_{0.97}Zn_{0.11})_{1.08}Sn_{1.02}S_{3.95}$
Станнин	$Cu_{1.98}(Fe_{1.08}Ni_{0.01})_{1.09}Sn_{1.00}S_{3.94}$
Селенид палладия и платины (неназванный минерал	$(Pd_{2.39}Pt_{0.53}Fe_{0.06})_{2.98}Se_{2.02}$
Тетраэдрит	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$
Теллуроантимонид палладия (тестибиопалладинит(?))	$(Pd_{0.88}Fe_{0.10}Ni_{0.08})_{1.06}(Te_{1.01}Sb_{0.89}Bi_{0.04})_{1.94}$
Оксиды, вольфраматы, молибдаты, фосфаты и др.	
Ильменит	$FeTiO_3$
Магнетит	Fe_3O_4
Рутил	TiO_2
Касситерит	SnO_2
Шеелит	$Ca(W, Mo)O_4$
Перовскит	$(Ca, Ba, Sr)TiO_3$
Титанат бария	$(Ba, Ca)(Ti, Zr)O_4$
Титанат бария и висмута	$(Ba, Bi)_{1-x}(Ti, Nb)O_3$
Бадделиит	$(Zr, Hf, Sc)O_2$
Циркон	$Zr\ [SO_4]$
Барит	$Ba\ [SO_4]$
Монацит	$(Ce, La, Nd, Th, Y, Gd, Sm)PO_4$
Апатит	$Ca_5\ [PO_4]_3(F, Cl)$

Проведенный анализ парагенезисов рудных минералов, в том числе и минералов благородных металлов, показывает их сходство в железистых кварцитах, межрудных сланцах курской серии, и высокоуглеродистых сланцах оскольской серии, что является одним из критериев, указывающих на принадлежность золото-платинометального оруденения к единой длительно формирующейся благороднометалльной рудообразующей системе.

3. Геолого-генетическая модель формирования единой рудообразующей системы золото-платинометалльного оруденения в железистых кварцитах и черных сланцах КМА.

Следует особо подчеркнуть, что особенность строения и состава железных руд месторождений рудных районов, общие закономерности размещения благороднометалльной минерализации определяются, пространственной сопряженностью железорудных рифтогенных по своей природе структур нижнего карелия с реактивизированными золото-платиноносными позднеархейскими зеленокаменными поясами. Определяющими многостадийную природу благороднометалльносодержащих железистых кварцитов и ассоциирующих с ними пород являются полицикличность развития и многостадийность палеопротерозойской тектоно-магматической активизации и коллизионных процессов на разных геодинамических этапах, сопровождающихся широким проявлением различных по возрасту и составу вулканических (пикриты, базальты, андезиты, дациты, риодациты нормального и субщелочного ряда) и комагматичных им субвулканических, интрузивных и дайковых образований (перидотиты, пироксениты, габбро-нориты, габбро, габбродиориты, диориты, гранодиориты, нормальные и субщелочные граниты, диоритовые и диабазовые порфириты, лампрофиры и др.). В совокупности с литолого-фациальными, структурными и другими факторами, в том числе метаморфическими процессами они оказали существенную роль на распределение благородных металлов полигенного и многостадийного по своей природе золото-платинометалльного оруденения, принадлежащего к различным геолого-генетическим типам [2]. Вместе с тем,

как отмечалось, сопряженность со структурами архейских СВК — продуцентов сказалось не только на особенностях типов и составе железистых кварцитов и ассоциирующих с ними пород, в том числе некоторых метасоматитов, которые несмотря на многостадийность их формирования, в условиях меняющихся геодинамических режимов тектономагматической активизации, метаморфических преобразований сохранили основные признаки распределения в них платиноидов (соотношение тяжелых и легких — прежде всего Pd/Pt) в пределах месторождений как Михайловского, так и Старооскольского рудных районов.

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 C, O, S и другим параметрам (в том числе числовым характеристикам по PT-условиям [16, 17, 19, 20, 21] образования силикатных и рудных минеральных парагенезисов) свидетельствуют о формировании курского, тимского, старооскольского и кшенского типов как единой благородно-металльной рудообразующей системы в условиях сопряженной длительной деятельности нескольких разнородных источников рудного вещества [11, 16, 20, 21, 25, 28]: а) экзогенного (осадочно-хемогенного); б) флюидно-магматогенного в связи с многоактным разноглубинным проявлением вулкано-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. 6) определяют принадлежность золото-платинометального оруденения в железистых кварцитах и пространственно совещённых с ними углеродистых сланцах рудных районов к единой полигенной и полихронной [16,20,23] длительно формирующейся золото-платинометаллльной рудообразующей системе.



Рис. 6. Источники поступления рудного вещества при формировании благородно-металльного оруденения в железистых кварцитах, сланцах и метасоматитах рудных районов КМА

Заключение

Таким образом, комплекс структурно-вещественных и минералогических признаков по закономерностям размещения, составу, минеральным формам нахождения ЭПГ и Au в железистых кварцитах и углеродистых сланцах, свидетельствуют о формировании благороднометалльного оруденения в процессе длительно формирующейся единой благороднометалльной рудообразующей системы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-05-00158, 12-05-10013, № 11-05-12050-офи-м-2011; № 12-05-31194-мол_а), Грант Президента РФ МК-98.2011.5; ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», ГК № 16.740.11.0623, «Программы стратегического развития ВГУ», ФЦП Минобрнауки 1.1 № 14.B37.21.0585 и 1.2.1 № 14. B37.21.1253.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Буряк В. А., Михайлов Б. К., Цымбалюк Н. В.* Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ // Руды и металлы. —2002. —№ 6. — С.25—36.

2. *Двойнин В. В., Дунай Е. И., Воевода И. И.* Золотоносность железистых кварцитов курской серии КМА // Разведка и охрана недр. 1993. № 9. — С.12—14.

3. *Додин Д. А., Чернышов Н. М., Яцкевич Б. А.* Платинометалльные месторождения России. — С. Пб.: Наука, 2000. —755 с.

4. *Додин Д. А., Чернышов Н. М., Чередникова О. И.* Металлогения платиноидов крупных регионов России. — М.: ОАО Геоинформмарк, 2001. —302 с.

5. *Додин Д. А., Золоев К. К., Коротеев В. А., Чернышов Н. М.* Углеродсодержащие формации — новый крупный источник платиновых металлов XXI века. — М.: ООО «Геоинформмарк», 2007. — 130 с.

6. Железные руды КМА. / Под. ред. В. П. Орлова. М.: Геоинформмарк, 2001. — 616 с.

7. *Рудашевский Н. С., Кнауф В. В., Чернышов Н. М.* Минералы платиновой группы из черных сланцев КМА // Докл. РАН. — 1995. — Т. 334, № 1. — С. 91—95.

8. *Созинов Н. А., Чистякова Н. Н., Казанцев В. А.* Металлоносные черные сланцы Курской магнитной аномалии. М.: Наука, 1988. —149 с.

9. *Тигунов Л. П., Быховский Л. З.* Проблемы и перспективы попутного получения благородных металлов из нетрадиционных источников минерального сырья. // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов. Матер. Всеросс. симпозиума. М.: 2002. — С.381—384.

10. *Холин В. М.* Геология, геодинамика и металлогения раннепротерозойской структуры КМА. // Автореф. дисс. канд. геол. — мин. наук. 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) // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геологическая. — 1996. — № 1. — С.114—132

12. *Чернышов Н. М., Додин Д. А.* Формационно-генетическая типизация месторождений металлов платиновой группы для целей прогноза и металлогенического анализа // 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 // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — 1996. — Вып. 2. — С. 75—85.

14. *Чернышов Н. М., Изоитко В. М., Петров СВ., Молотков С. П.* Первые находки минеральных форм элементов платиновой группы в железистых кварцитах КМА (Центральная Россия) // Докл. РАН. 2003. Т. 391. № 1. С. 104—107.

15. *Чернышов Н. М., Кузнецов В. С.* Сульфидная минерализация, содержащая благородные металлы, в межрудных сланцах Стойленского железорудного месторождения // Известия высших учебных заведений. Сер. Геология и разведка. — 2011. — № 2. — С. 17—23.

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

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

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

19. *Чернышов Н. М.* Благороднометалльносодержащие парагенезисы сульфидов и их аналогов в железорудных месторождениях КМА (Центральная Россия). // Вестник Воронеж. гос. ун-та, Геология, 2007. № 1. — С. 101—114

20. *Чернышов Н. М.* Золото-платинометалльное оруденение черносланцевого типа Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). / 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) // Зап. РМО. 2009. CXXXVI. № 1. с.36—51

22. *Чернышов Н. М., В. С. Кузнецов, С. В. Петров.* Новые данные о минеральном составе благороднометалльного оруденения Стойленского железорудного месторождения КМА (Центральная Россия) // 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). // Докл. РАН. 2010. т. 430. № 3. С.395—399.

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

25. *Чернышов Н. М., Понамарева М. М.* Роль первичных источников (продуцентов) при формировании благороднометалльного оруденения в железорудных месторождениях КМА. // Вестник Воронежского гос. ун-та, Геология. Воронеж, 2012. № 1. — С. 108—115.

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

27. *Чернышов Н. М.* Геология, металлогения и полезные ископаемые докембрийского фундамента Воронежской области / Н. М. Чернышов, С. П. Молотков // Регион: системы, экономика, управление. — 2013. — № 1 (20). — С.62—81.

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