

УДК 549.27 : 552.4 : 553.8(470.324)

Н.М. Чернышов

Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. проф. образования
"Воронежский государственный университет"
394006, г. Воронеж, Россия, Университетская пл., 1
E-mail: petrology@list.ru

ЗОЛОТО-ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В ЖЕЛЕЗИСТЫХ КВАРЦИТАХ И СЛАНЦАХ КМА – ЕДИНАЯ РУДООБРАЗУЮЩАЯ СИСТЕМА

Приведены новые данные о содержащих благородные металлы структурно-вещественных комплексах палеопротерозоя и их парагенезисах в двух пространственно разобщенных и разных по составу вмещающих железистых кварцитов и черных сланцев рудных районов (Курская магнитная аномалия). Установлен многостадийный характер формирования благороднометалльного оруденения. Определен однотипный состав минеральных фаз в железистых кварцитах, сланцах и метасоматитах, свидетельствующий о принадлежности их к единой длительно развивавшейся рудообразующей системе. Приведена обобщенная модель формирования благороднометалльной рудообразующей системы в условиях разных по генетической принадлежности источников вещества.

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

Благородные металлы — важнейшее стратегическое сырье и основа наиболее перспективных направлений применения новейших технологий. Многообразие сфер использования и рост потребления платиноидов и золота, характеризующихся крайне низким содержанием в земной коре, нуждаются в новых нетрадиционных источниках благородных металлов. Среди таких источников особое значение приобретают уникальные по ресурсам и глобальные по степени распространения стратифицированные углеродистые толщи и железистые кварциты раннего палеопротерозоя — основные компоненты железисто-кремнисто-сланцевой формации и ассоциирующие с ними черные сланцы древних платформ и щитов всех континентов мира [6, 9]. В пределах Восточно-Европейской платформы к их числу относятся крупнейшие железорудные районы Курской магнитной аномалии (КМА) и Украинского щита (УЩ). В пределах последнего в составе золотоносных железистых кварцитов присутствуют элементы платиновой группы (ЭПГ),

содержание которых в ряде случаев достигает промышленной концентрации как в самих рудах, так и в продуктах их обогащения. В частности, в метасоматически измененных породах кремнисто-железистой формации Среднего Приднепровья УЩ сумма благородных металлов (Pt, Pd, Au) достигает 8—16 г/т при содержании Au = 0,2—0,8 г/т и отношении Pd/Pt = 6—10 [7, 30]. Высокая концентрация золота (до 12,5 г/т) установлена в значительной по мощности (около 6 м) и протяженности (600—800 м) сульфидизированной зоне цементации вторичной рудной залежи коры выветривания железистых кварцитов Ингулецкого участка Кривбасса (УЩ). Повышенное содержание благородных металлов (Au = 0,3—1,0 г/т, иногда до 4, 5—7; Pt = 0,05; Pd = 0,2 г/т) выявлено в линзах сплошных сульфидных пирротин-халькопирит-пиритовых залежей, приуроченных к лежащему боку железных руд, и в сульфидизированных милонитах Костамукшинского месторождения, а также Оленегорской группы железорудных месторождений (Балтийский щит), в которых содержание Pt (0,05—0,08 г/т) и Pd (до 0,3 г/т) прямо коррелирует с

© Н.М. ЧЕРНЫШОВ, 2015

концентрацией золота (Au от 0,02—0,3 г/т, иногда до 12).

Структурно-вещественные критерии размещения благороднометалльного оруденения в железистых кварцитах и черных сланцах КМА. Железистые кварциты и сланцы с золото-платинометалльной минерализацией установлены в составе всех структурно-вещественных комплексов (СВК) мезо- и неоархейских зеленокаменных поясов КМА и пространственно совмещенных с ними сложных по своей геодинамической природе и составу палеопротерозойских структур. Этим определен высокий золото-платиноносный потенциал Воронежского кристаллического массива (ВКМ) — крупного (600 × 1000 км) сегмента Восточно-Европейской платформы [15].

Наиболее высокая концентрация благородных металлов установлена в пределах Михайловского и Старооскольского рудных районов

КМА. В формировании литосферы структуры КМА в раннем протерозое отчетливо выделяются четыре этапа — протоплатформенный, континентальный рифтогенез с рядом стадий, коллизионный и заключительный раннеплатформенный (рис. 1). Они различны по составу СВК и ассоциирующим с ним золото-платинометалльным оруденением. При всем многообразии типов рудообразующих систем (рис. 1), возникающих в разных геодинамических обстановках становления структуры КМА, наибольший промышленный интерес представляет золото-платинометалльное оруденение, ассоциирующее с железистыми кварцитами, междурными сланцами курской серии и прежде всего с углеродистыми сланцами и метасоматитами оскольской серии [15, 17]. В современном варианте они представляют собой сложные дискордантные интракратонные складчато-глыбовые структуры, пространственно

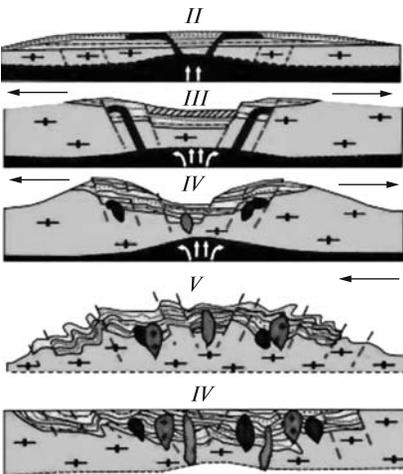
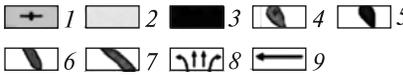
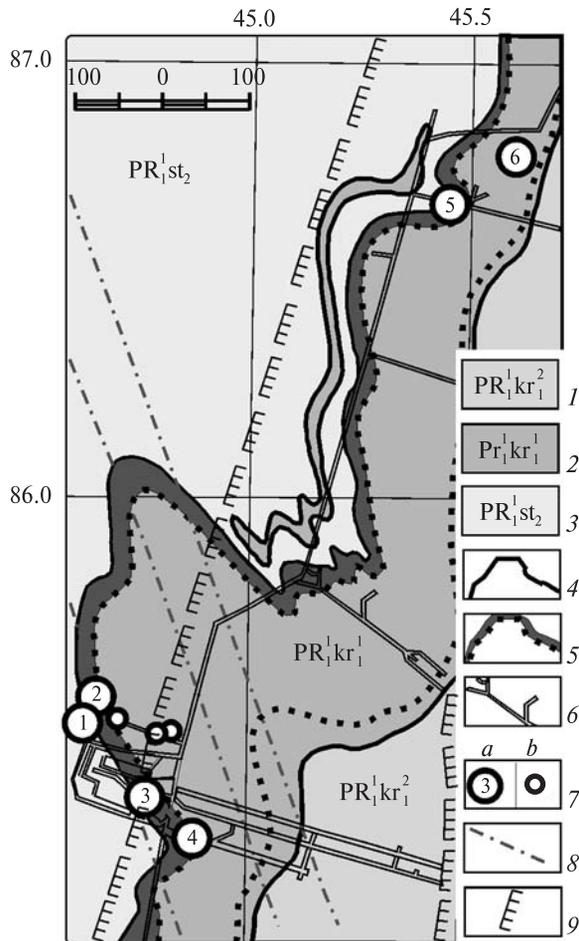
<p>Kursk Magnetic Anomaly Geodynamical stages of the formation of the Early-Proterozoic structure</p> 	Type of the geodynamical regime	Structural-material complexes	Ore-forming systems
	Protoplatformic	Kursk iron ore series, rogovskaya and belgorodskaya formations of the oskol series	1 — Au-Pt-U of the quartz konglomerates; 2 — Au-Pt-bearing ferruginous-siliceous-quartz; 3 — PGE-Au-bearing; 4 — Au-quartz-sulfidic (Pt-bearing); 5 — Au-bearing of the weathering crusts of ferruginous quartzites and shales
<p>II III IV</p>	Continental rifting (II—IV): a — pre-rifting stage b — rifting stage	a — normal-alkaline basalts; b — early stage — mollassoid deposits, high-Ti gabros; late stage — rock associations of the siliceous-carbonaceous-clastic facies, limitedly — basalts, picrites; ultramafic-mafic intrusions (zolutukhino type)	1 — Au-bearing placers; 2 — polygenous Au-Pt-bearing in the shales; 3 — Ti-V
<p>V</p>	Collision (V)	Stoylo-nicolaevsky gabbro-biorite-granite complex (2085 ± 5 Ma); shebekinsky sienite complex 2066 ± 14 Ma, malinsky granite complex, andesites of the glazunovo formation	1 — Au-sulfide-quartz (Pt-bearing) and galenite-sphaleritic; 2 — greisen cassiterite-siliceous; 3 — rare-earth U-Th; 4 — polymetallic; 5 — rare-metal (in the spodumens pegmatites); 6 — Au-PGE pyritic in the metasomatites; 7 — Au-Pt-bearing in stratified layers (glazunovo formation)
<p>IV</p> 	Early platformic (IV)	Trap formation (smorodinsky complex; 2060 ± 10 Ma); alkaline subultramafites with carbonates (dubravinsky complex)	1 — Pt-bearing titanomagnetite with vanadium; 2 — low-sulfide PGE; 3 — sulfide PGE-Cu-Ni; 4 — apatite-magnetite PGE-bearing in carbonates, etc

Рис. 1. Геодинамика и минерагения раннепротерозойского этапа (по [28], с дополнениями): 1 — протокрая серогнейсового состава; 2 — ассоциация пород стадии рифтогенеза; 3 — подкорový слой верхней мантии; 4 — коллизионные гранитоиды; 5 — базальты повышенной щелочности; 6 — базальтоиды нормальной щелочности; 7 — траппы; 8 — векторы теплопереноса; 9 — векторы тектонического напряжения

Fig. 1. Geodynamic and mynerageny of the Early-Proterozoic stage ([28], with additions): 1 — gray-gneiss protocrust; 2 — rifting-stage rock association; 3 — undercrust layer of upper mantle; 4 — collisional granitoids; 5 — high-alkaline basalts; 6 — normal-alkaline basalts; 7 — traps; 8 — heat and mass transfer vectors; 9 — tectonic stress vectors



kings; 7 — noble metal mineralization, g/t: a) (numbers in circles): 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; b) with gold concentration >0,5 g/t; 8 — rifts; 9 — quarry contour (of 01.01.2001)

совмещенные с неогархейскими коматиитсодержащими зеленокаменными поясами [15].

Характерные особенности золото-платиноносных структурно-формационных зон, наиболее полно проявленных в Старооскольском и Железногорском железорудных районах мегаблока КМА (рис. 2—4), таковы [1, 4, 5, 10, 13, 15, 17, 18, 24]:

1. 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.

2. Широкое развитие разных по составу вулканоплутонических ассоциаций с пикрит-толеит-базальтовыми и базальт-андезит-дацитовыми вулканитами (с нормальными и щелоч-

ными базальтами и их туфами; оскольская серия) и магматитами ультрамафит-мафитового, габбро-диорит-гранодиоритового и гранитоидного состава с отчетливой металлогенической специализацией на (Cu, Pb, Zn, Au, Ag, металлы платиновой группы (ЭПГ), P, B, TR).

3. Высокая степень интенсивности проявления складчатости и взбросо-надвиговых перемещений, сложный структурный рисунок разломных нарушений разного порядка с образованием зон объемного катаклаза, выступающих в качестве контролирующих элементов рудообразующих систем.

4. 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 осадоч-

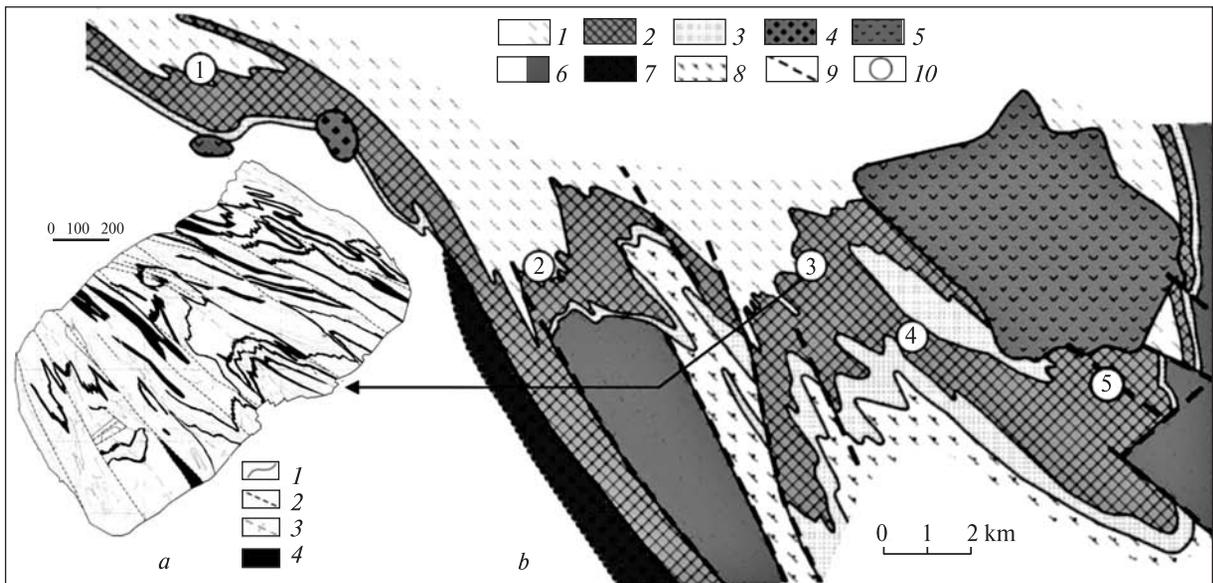


Рис. 3. Карта зон золото-платиносодержащей сульфидной минерализации на Лебединском месторождении (а) и схематическая геологическая карта Старооскольского железорудного узла (b): нижний протерозой — курская серия: 1, 2 — коробковская свита: 1 — верхняя сланцевая подсвита ($PR^1_{kr_4}$); 2 — верхняя и нижняя железорудные подсвиты с внутрирудной (нижней) сланцевой подсвитой ($PR^1_{kr_{3-1}}$); 3 — стойленская свита (PR^1_{st}) — кварцитопесчаники, кварц-сланцевые сланцы; 4 — микроклиновые граниты атаманского комплекса (γPR^1_{2a}); 5 — габбродиориты, кварцевые диориты стойло-николаевского комплекса ($\gamma \delta PR^1_{sn}$); 6 — нерасчлененный гранитогнейсовый комплекс ($m\gamma (AR-PR^1_1)$) — гранитогнейсы, мигматиты, гнейсы, прослои и линзы амфиболитов; верхний архей — 7 — плагииграниты салтыковского комплекса (γAR^1_{sl}); 8 — михайловская серия (AR^1_{mh}); 9 — разломы; 10 — месторождения: 1 — Панковское, 2 — Коробковское, 3 — Лебединское, 4 — Стойло-Лебединское, 5 — Стойленское

Fig. 3. Map of zones of sulfide mineralization on Lebedinskoye deposit (a) and schematic map of Staryi Oskol deposit cluster (b): lower Proterozoic — Kursk series: 1, 2 — Korobkovskaya formation: 1 — upper shale subformation ($PR^1_{kr_4}$); 2 — upper and lower iron ore-bearing subformations with intraore (lower) shale subformation ($PR^1_{kr_{3-1}}$); 3 — Stoylenskaya formation (PR^1_{st}) — quartzite sandstone, quartz-mica shales; 4 — microcline granites of Atamanovsky complex (γPR^1_{2a}); 5 — gabbrodiorites, quartz diorites of Stoylo-Nikolaevsky complex ($\gamma \delta PR^1_{sn}$); 6 — undifferentiated granite-gneiss complex ($m\gamma (AR-PR^1_1)$) — granite-gneisses, migmatites, gneisses, layers and lenses of amphibolites; upper Archean — 7 — plagiogranites of Saltykovsky complex (γAR^1_{sl}); 8 — Mikhailovskaya series (AR^1_{mh}); 9 — rifts; 10 — deposits: 1 — Pankovskoye, 2 — Korobkovskoye, 3 — Lebedinskoye, 4 — Stoylo-Lebedinskoye, 5 — Stoylenskoye

ных и вулканогенно-осадочных образованиях оскольской серии и их метасоматитах — тимской и кшенский типы.

В совокупности эти факторы определяют источники элементов, условия формирования, стадийность, минеральный состав, геолого-генетические типы благороднометалльной минерализации, структуру модели рудообразующей системы.

По условиям локализации, морфологии и масштабам рудных залежей, особенностям их минерализации, содержанию благородных металлов и промышленной значимости выделены шесть типов [11, 14, 15, 19, 20, 29] (табл. 1).

Один из наиболее крупных по ресурсам Au и ЭПГ типов — метаморфогенно-метасоматический (стратиформный) в углеродсодержащих сланцах, максимально проявленный в преде-

лах Михайловского железорудного района 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 (протяженность 130 км при ширине 30–50) Тим-Ястребовской структуре КМА (рис. 4) характеризуется: локализацией в нижней сульфидизированной углеродистой терригенно-осадочной части разреза тимской свиты оскольской серии; многоуровневым (три-семь гори-

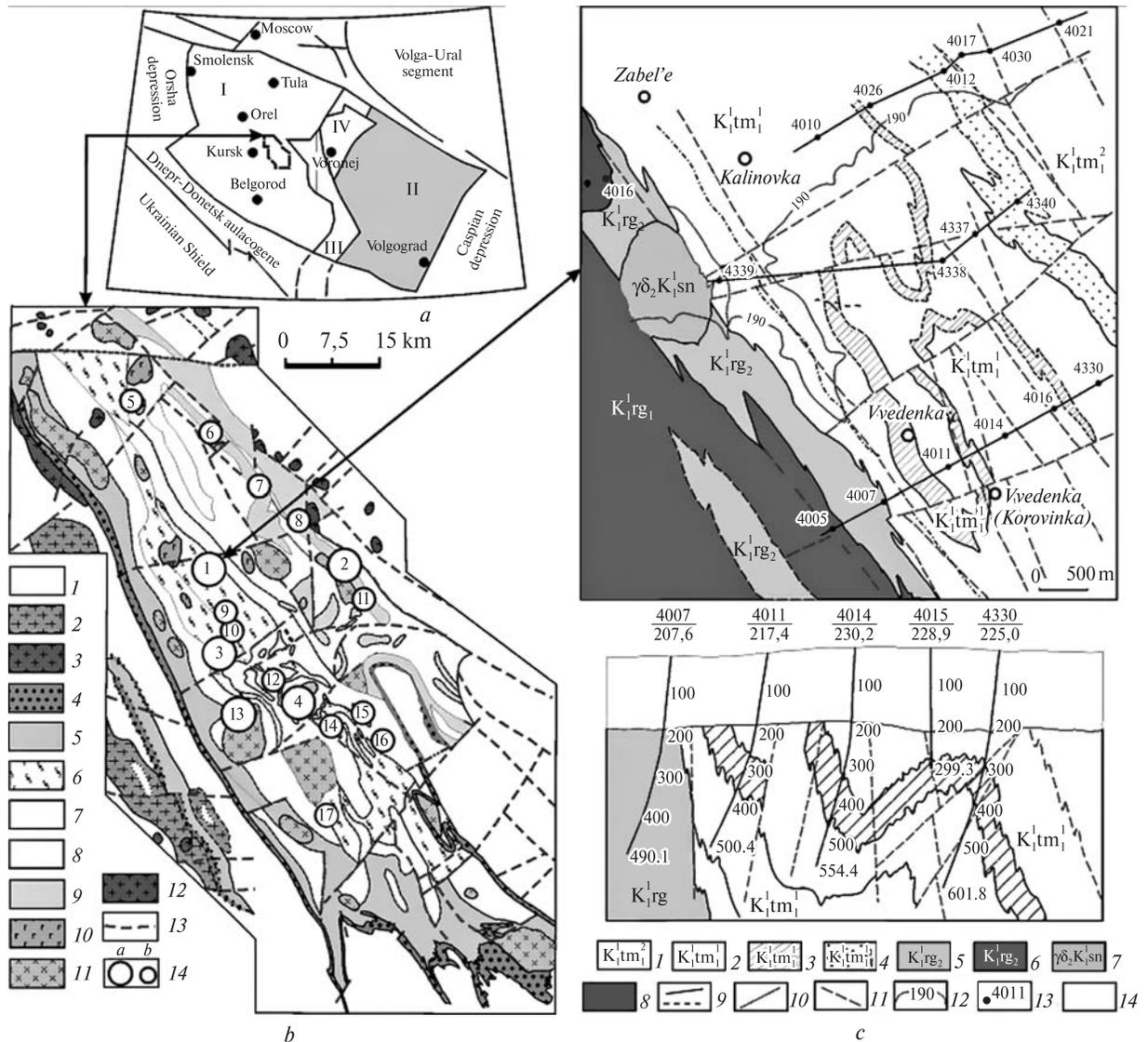


Рис. 4. Местоположение на ВКМ Тим-Ястребовской золото-платиноносной структуры (а), ее схематическая геологическая карта (b) и геологическая схема Луневско-Введенского участка центральной части Тим-Ястребовской структуры с разрезом (с): а: I — мегаблок КМА, II — Хоперский мегаблок, III — Лосевская шовная зона, IV — Ольховско-Шукавская грабенсинклиналь, многоугольником обозначено местоположение Тим-Ястребовской структуры; b: 1 — обоянский плутоно-метаморфический комплекс (AR_{1ob} , плагиогнейсы, прослой и линзы амфиболитов, прослой 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-габброноритовый комплекс (K_1z), 11 — стойло-николаевский диорит-гранодиоритовый комплекс (K_1sn), 12 — малиновский гранитный комплекс (K_1m), 13 — тектонические нарушения, 14 — разномасштабные по ресурсам благороднометалльные рудопоявления (цифры в кружках): 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; с: 1 — нижнетимская подсвита, верхняя толща: ортосланцы по породам основного состава (амфиболовые, актинолит-

зонтов, мощностью от первых метров до 25–30 м) размещением, высокой концентрацией (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 ($Pd > Pt > Rh > Ru > Ir > Os$); высокой степенью концентрирования благородных металлов в наиболее тонкозернистой (<0,06 мм) сульфидно-углеродистой фракции, в которой их концентрация многократно (15–16 раз) превышает содержание в исходных (рудовмещающих) породах [13, 17, 18, 24].

Наиболее значимое рудопроявление гидротермально-метасоматического типа — Кшенское, приуроченное к Тим-Ястребовской структуре. Кшенский тип золото-платиносодержащего оруденения сосредоточен в протяженной Воскресеновской рудоносной зоне расланцованных, катаклазированных, миланитизи-

рованных и разной интенсивностью метаморфически и метасоматически преобразованных основных и ультраосновных вулканитов и углеродсодержащих вулканогенно-осадочных пород верхней части разреза тимской свиты. Характерными особенностями кшенского типа оруденения являются [3, 5, 13, 15, 17, 18]: отчетливая 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; резкое преобладание Au (230–6500, иногда до 20100 мг/т) над Pt (60–680, в редких случаях до 18000 мг/т) и Pd (50–100, иногда до 400 мг/т); значительная аналогия по геолого-структурному положению, характеру рудовмещающих пород, условиям

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, тремолититов, 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 разновозрастных образований (фациальные) внутри стратиграфических подразделений; 11 — разломы; 12 — абсолютная отметка кристаллического фундамента; 13 — местоположение и номера пробуренных скважин; 14 — породы осадочного чехла

Fig. 4. Position on the VCM of Tim-Yastrebovskaya Au-Pt-bearing structure (a), its schematic geological map (b) and geological map of Lunevsko-Vvedenskiy area of central part of Tim-Yastrebovskaya structure (with cross-section) (c): a: I — KMA megablock, II — Kheper megablock, III — Losevo subzone, IV — Olkhovsko-Shukavskaya graben-sincline, polygon — Tim-Yastrebovskaya structure; b: 1 — Obovansky complex (AR_{1ob} , plagiogneisses, layers and lenses of amphibolites, layers of quartzites), 2 — Saltykovsky complex (AR_{2sl} , plagiogranites, tonalites, granodiorites), 3 — Atamanovsky complex (AR_{2a} , normal-alkaline plagioclase-microcline granites), 4–12 — Early-Karelian formations: 4 — Kursk series (K_1ks , quartzite-sandstone, shales, ferrigenous quartzites), 5–9 — Oskol series: 5 — Rogovskaya formation (K_1rg , carbonate shales, quartz-biotite shales, dolomites, limestones), 6–9 — Timsкая formation: 6, 7 — lower Timsкая subformation (K_1tm_1), 8, 9 — upper Timsкая subformation (K_1tm_2), 10 — Zolotukhinsky peridotite-pyroxenite-gabbro-norite complex (K_1z), 11 — Stoylo-Nikolayevsky diorite-granodiorite complex (K_1sn), 12 — Malinovskiy granite complex (K_1m), 13 — tectonic disturbances, 14 — various scale ore occurrences (numbers in circles): 1 — Lunevskoye, 2 — Kshenskoye, 3 — Pogozhenskoye, 4 — Prilepskoye, 5 — Sergievskoye, 6 — Verkhne-Berezovskoye, 7 — Lugovskoye, 8 — Panskoye-I, 9 — Severo-Timskoye, 10 — Timskoye, 11 — Rogozetskoye, 12 — Yuzhno-Pogozhenskoye, 13 — Rogovskoye, 14 — Zarehenskoye, 15 — Petrovskoye, 16 — Bezlenkinskoye, 17 — Krutoverhovskoye; c: 1 — Nizhnetimskaya subformation, upper layer: ortoshales on basic rocks (amphibolite and amphibolite-actinolite shales), amphibolites; 2–4 — Nizhnetimskaya subformation (2 — carbonaceous quartz-biotite shales horizon with sublayers of quartzite sandstones, metasandstones and normal-sulfidized garnet rocks, 3 — carbonaceous quartz-plagioclase-mica Au-Pt-bearing shales horizon with carbonate and carbonate-amphibole rocks, tremolites and high-sulfide dolomites, 4 — black and dark grey carbonaceous quartz-biotite shales, silty shales with sublayers of normal-sulfidized metasandstones); 5 — Rogovskaya formation, upper subformation: dolomites, amphibole-carbonate rocks, shales; 6 — Rogovskaya formation, lower subformation; 7, 8 — intrusive formations (7 — Stoylo-Nikolayevsky complex, second phase: granodiorites and quartz diorites, 8 — first phase: gabbro, gabbrodiorites); 9 — geological boundaries: true and guessed; 10 — boundaries of formations of same age within stratigraphical divisions; 11 — rifts; 12 — absolute point of the crystalline basement; 13 — location and numbers of wells; 14 — sedimentary cover rocks

Таблица 1. Генетические типы и закономерности размещения золото-платинометалльного оруденения в железистых кварцитах и черных сланцах КМА

Table 1. Genetic types and patterns of distribution of platinum-gold mineralization in the ferruginous quartzites and black shales of the KMA

Структурно-вещественный контроль оруденения	Содержание Au, Pt, Pd, г/т	Тип минерализации	Морфология рудных залежей	Возможное практическое применение
<i>1. Осадочно-метаморфогенный</i>				
Обширные площади развития железистых кварцитов и углеродистых сланцев в палеопротерозойских рифтогенных структурах	Низкое (фоновое) 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
<i>2. Метаморфогенно-метасоматический</i>				
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 протяженностью 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
<i>3. Гидротермально-метасоматический</i>				
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 протяженностью первые сотни метров среди железистых кварцитов (Михайловское, железорудное месторождение) и углеродистых сланцев (Кшенское рудопроявление)	Самостоятельные, преимущественно золоторудные объекты для селективной отработки
<i>4. Гипергенно-метасоматический</i>				
Зоны развития линейных кор выветривания железистых кварцитов (богатые маргитовые 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
<i>5. Осадочный</i>				
Базальные горизонты зон несогласий (докембрий-фанерозой), перекрывающие богатые маргитовые руды	Au = 0,53 Pt = 0,15 Pd = 1,70 P3Э = 556,3 U = 12,2—23,6	Концентрированный	Пластовые тела сульфидированных органогенных пород девона ("фосфоритовая плита" мощностью >1 м) в кровле железорудных месторождений (Михайловское железорудное месторождение)	Самостоятельные уранредкоземельно-благороднометаллоносодержащие объекты во вскрышных породах (селективная отработка)
<i>6. Техногенный</i>				
Продукты-хвостотвалы 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 — хвостотвалы ГОКов	Самостоятельные платино-золоторудные объекты

локализации бескварцевого сульфидно-вкрапленного типа оруденения с рядом известных крупных месторождений (Калгари в Австралии, Гейта в Танзании, Вендерер в Южной Родезии [15, 17]).

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, 15, 21, 25]. Ниже приведены обобщенные данные по минералогии и формам нахождения благородных металлов в железистых кварцитах и черных сланцах КМА.

Для исследований в процессе минералогического картоирования карьера и отдельных скважин отобраны пробы весом от 30—50 до 200 кг. Каждая из них сокращена на делителе Джонса в восемь раз с последующим объединением одной восьмой каждой пробы в среднюю для последующего пробирного анализа и гравитационной сепарации на концентриционном столе СКЛ-2. Навеска для пробирного анализа измельчена на чашковом истирателе целиком. Пробирная плавка проведена из двух параллельных определений в навесках 40 г каждая. Аналитические исследования выполнены в лаборатории ЗАО "Механобр-Инжиниринг" (Санкт-Петербург).

Для определения форм нахождения благородных металлов проведено исследование укрупненной навески частной пробы (крупность менее 0,25 мм), после чего проведено ее концентрирование на центробежном сепараторе "Knelson 3,5" с контрольным обогащением на центробежном сепараторе ЦВК-100М. В результате получен гравитационный концентрат, ставший основой для выделения минералов благородных металлов.

Половина полученного гравитационного продукта была направлена на определение содержания благородных металлов методом пробирного анализа. Другая половина перечищена в чашках с использованием тяжелой жидкости М-45 (плотность 2,82 г/см³) с получением "ультратяжелой фракции". Легкая фракция доводки растворена в плавиковой

кислоте с магнитной сепарацией остатка от растворения. С помощью растворения в кислоте вскрыты зерна рудных (оксидных и сульфидных) минералов из сростаний с кварцем и силикатами. Магнитная сепарация дала возможность удалить магнетит, гематит, гидрооксиды и силикаты железа. Остатки химической доводки легкой фракции объединены с "ультратяжелой" фракцией гравитационной доводки. Весь материал этого продукта использован для изготовления препарата для электронно-микроскопических исследований.

Золото-платинометалльное оруденение в железистых кварцитах и черных сланцах КМА характеризуется сложным полиминеральным (более 60 минералов, в том числе около 30 собственных минеральных фаз ЭПГ, Au, Ag) и многокомпонентным составом. Определяющие особенности благороднометалльного оруденения в железистых кварцитах и межрудных сланцах курской серии таковы: 1 — многообразие форм концентрирования и широкое развитие (около 60; 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 твердых растворов и интерметаллических соединений (рутениридосмин, платрутеносмид, 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, сальванит, вольтинскит, мутманнит, мальдонит и др.); 2 — ведущая (85—90 об. %) роль в рудном парагенезисе сульфидов и их аналогов при резком преобладании среди них пирита и пирротина [15, 16, 22, 23, 28], которые вследствие очевидной принадлежности к разным стадиям длительно формирующейся рудообразующей системы характеризуются значительным кристалломорфологическим разнообразием и существенными вариациями содержания главных (Fe, S) и сопутствующих (Ni, Co, Cu) элементов; 3 — наличие оксидов Fe, Ti, Sn, U, Zr и гидрооксидов, карбонатов и сульфатов Fe, Ba, а также шеелита, монацита, циркона.

Золото-платинометалльное оруденение тимского и кшенского типов характеризуется наличием (табл. 3): самородных элементов (золото, палладий, платина, осмий, серебро), а также металлических твердых растворов и ин-

Таблица 2. Рудные минералы золото-платинометалльного оруденения в железистых кварцитах КМА [2, 8, 15, 21, 22, 24, 25, 27]

Table 2. Ore minerals of platinum-gold mineralization in the ferruginous quartzites KMA [2, 8, 15, 21, 22, 24, 25, 27]

Самородные металлы, металлические твердые растворы и интерметаллические соединения	
Золото самородное и палладий-серебро-медь-содержащее	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. $Au_{0,96}Ag_{0,02}Cu_{0,02}$
Осми́й	$Os_{0,77}Ir_{0,19}Ru_{0,03}Pt_{0,01}$
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	$Au_{0,17}Ag_{0,83}$
<i>Минералы ряда:</i>	
рутений, иридий, осми́й, платина	$Ru_{0,29}Ir_{0,28}Os_{0,19}Pt_{0,17}Fe_{0,05}Rh_{0,01}$
рутений, платина, родий	$Ru_{0,38}Pt_{0,32}Rh_{0,13}Ir_{0,06}Os_{0,06}Fe_{0,04}Ni_{0,01}$
осми́й, 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	$Ir_{0,53}Os_{0,43}(Fe_{0,02}Ni_{0,01}Rh_{0,004})$
	<i>Сульфиды</i>
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_2SCuS_2
Пенталандит	$(Fe, Ni)_9S_8$
	<i>Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, висмутиды, сульфосоли</i>
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. $(Au_{0,72}Ag_{0,32})_{1,04}Te_2$

Самородные металлы, металлические твердые растворы и интерметаллические соединения			
<i>Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, висмутиды, сульфосоли</i>			
Вольнскит		$(Ag_{1,03}Bi_{1,01})_{2,04}Te_2$	
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		$Bi_{2,04}S_{2,96}Cu_{0,04}$	
<i>Хедлиит (Pt-содержащий)</i>		$Te_{3,00}Bi_{6,95}$	
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. $(Te_{2,00}S_{1,00})_{3,00}Bi_{2,00}$	
<i>Арсенопирит (Pt-содержащий)</i>		FeAsS	
Теннантит		$Cu_{12}As_4S_{13}$	
Тетраэдрит		$Cu_{12}Sb_4S_{13}$	
<i>Никелистый кобальтин-герсдорфит (Pd-содержащий)</i>		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)		$(Ni_{0,84}Co_{0,09}Fe_{0,08}Pd_{0,02})AsS$	
Леллингит никельсодержащий		$(Fe_{0,82}Ni_{0,18})As_2$	
<i>Оксиды, гидроксиды и др.</i>			
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	$Zr[SO_4]$

терметаллических соединений — палладий платиносодержащий, платина железосодержащая, золото-платина-палладий, осмистый иридий, рутениридосмин, платиридосмин, платосмиридий, золото ртуль-теллур-серебросодержащее, амальгама золота-серебра, аркверит, станнид палладия (неназванный минерал), платина-палладий-золото-серебро-олово. Характерно присутствие сульфоарсенидов, теллуридов антимонидов, селенидов и сульфосолей ЭПГ, Au и Ag — сперрилит, ирарсит, гессит, селенид палладия и платины (неназванный минерал), тестибиопалладинит, антимонид палладия и золота (неназванный минерал) и др., примесей в основных платино-паладий-золотосодержащих рудообразующих сульфидах (мас. %) — пирротине (Au и 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 сульфидов, сульфоарсенидах, сульфоантимонидов и теллуридах — арсенопирите (Au — до 0,32, Pt — до 0,18), пентландите (Au — 0,13, Pt — до 0,07 и Pd — до 0,04), галените (Pt — до 0,15, Au — до 0,10), молибдените (Pd — до 0,14, Au — до 0,07), теллуrowисмутите (Pt — до 0,95, Au — до 0,35 и Pd — до 0,08), ульманите (Pt — до 0,17, Au — до 0,11 и Pd — до 0,08), алабандините (Pd — до 0,13, Pt — до 0,10 и Au — до 0,10), герсдорфите (Pt — до 0,22, Au — до 0,31 и Pd — до 0,02), кобальтине (Pd — до 0,03). Они в совокупности с нахождением благородных металлов в углеродистом веществе (в том числе и в фуллеренах) определяют необходимость разработки принципиально новых экологически

Таблица 3. Минералы золото-платинометалльного оруденения черносланцевого типа ВКМ
 Table 3. Minerals of Au-PGE mineralization of black shales type of the VCM

<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	$Au_{0,53}Ag_{0,29}Te_{0,07}Hg_{0,02}$
Амальгама золота-серебра	$Au_{6,95}Ag_{6,07}Hg_{3,14}$
Аркверит	(Ag, Hg, Pt)
Станид палладия (незванный 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	$(Fe_{7,86}Ni_{0,89}Co_{0,04}Cu_{0,13}Zn_{0,02})_{8,94}S_{8,06}$
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
<i>Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, селениды, сульфосоли</i>	
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	$(Ni_{0,87}Co_{0,07}Fe_{0,07}Cu_{0,01})_{1,02}Sb_{1,01}S_{0,97}$
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 станин	$Cu_{1,95}(Fe_{0,97}Zn_{0,11})_{1,08}Sn_{1,02}S_{3,95}$
Станин	$Cu_{1,98}(Fe_{1,08}Ni_{0,01})_{1,09}Sn_{1,00}S_{3,94}$

<i>Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, селениды, сульфосоли</i>	
Селенид палладия и платины (неназванный минерал)	$(Pd_{2,39}Pt_{0,53}Fe_{0,06})_{2,98}Se_{2,02}$
Тетраэдрит	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$
Теллурантимонид палладия (тестибиопалладинит (?))	$(Pd_{0,88}Fe_{0,10}Ni_{0,08})_{1,06}(Te_{1,01}Sb_{0,89}Bi_{0,04})_{1,94}$
<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	$(Ca, Ba, Sr)TiO_3$
Титанат бария	$(Ba, Ca)(Ti, Zr)O_4$
Титанат бария и висмута	$(Ba, Bi)_{1-x}(Ti, Nb)O_3$
Бадделеит	$(Zr, Hf, Sc)O_2$
Циркон	$Zr[SiO_4]$
Барит	$Ba[SO_4]$
Монацит	$(Ce, La, Nd, Th, Y, Gd, Sm)PO_4$
Апатит	$Ca_5[PO_4]_3(F, Cl)$

Таблица 4. Содержание Pt, Pd и Au в породах зеленокаменных поясов ранне- и позднеархейского циклов развития ВКМ [15], г/т

Table 4. Concentrations of Pt, Pd and Au in the rocks of greenstone belts of Early- and Late-Archean cycles of formation of the VCM [15], g/t

Рудовмещающие формации (комплексы, серии, свиты)	Породы (в т. ч. их минерализованные разновидности)	Количество анализов	Pt	Pd	Au	Pd/Pt
<i>2. Позднеархейский (3,0–2,5 млрд лет; олимпийский тип)</i>						
Габбродиабазовая (тарасовский комплекс)	Габбро, габбродиабазы	2	0,020	0,009	0,003	0,45
	Дунит-перидотитовая (железногорский комплекс)	5	0,044	0,011	0,005	0,25
	Перидотиты и их серпентиниты	6	0,035	0,007	0,004	0,20
	То же с сульфидной минерализацией	2	0,110–0,140	0,023–0,075	0,030	0,40
	Коматиит-базальтовая (александровская свита михайловской серии)	6	0,020	0,005	0,005	0,25
	То же с сульфидной минерализацией	1	0,060	0,023	—	0,38
	Пироксеновые коматииты	2	0,015	0,005	0,003	0,33
	Коматиитовые базальты	20	0,009	0,004	—	0,44
	Толейтовые базальты	5	0,008	0,006	—	0,75
<i>1. Раннеархейский (>3,0 млрд лет; бесединский тип)</i>						
Перидотит-пироксенит-габброноритовая	Габбронориты	8	0,010	0,005	0,003	0,50
	Перидотиты с сульфидной минерализацией	2	0,170	0,014	0,005	0,08
	Пироксениты с сульфидной минерализацией	1	0,240	0,015	—	0,06
	Горнблендиты рудные	1	1,300	0,360	—	0,28
Коматиит-пикрит (?)-базальтовая	Толейтовый базальт	3	0,012	0,005	0,003	0,42

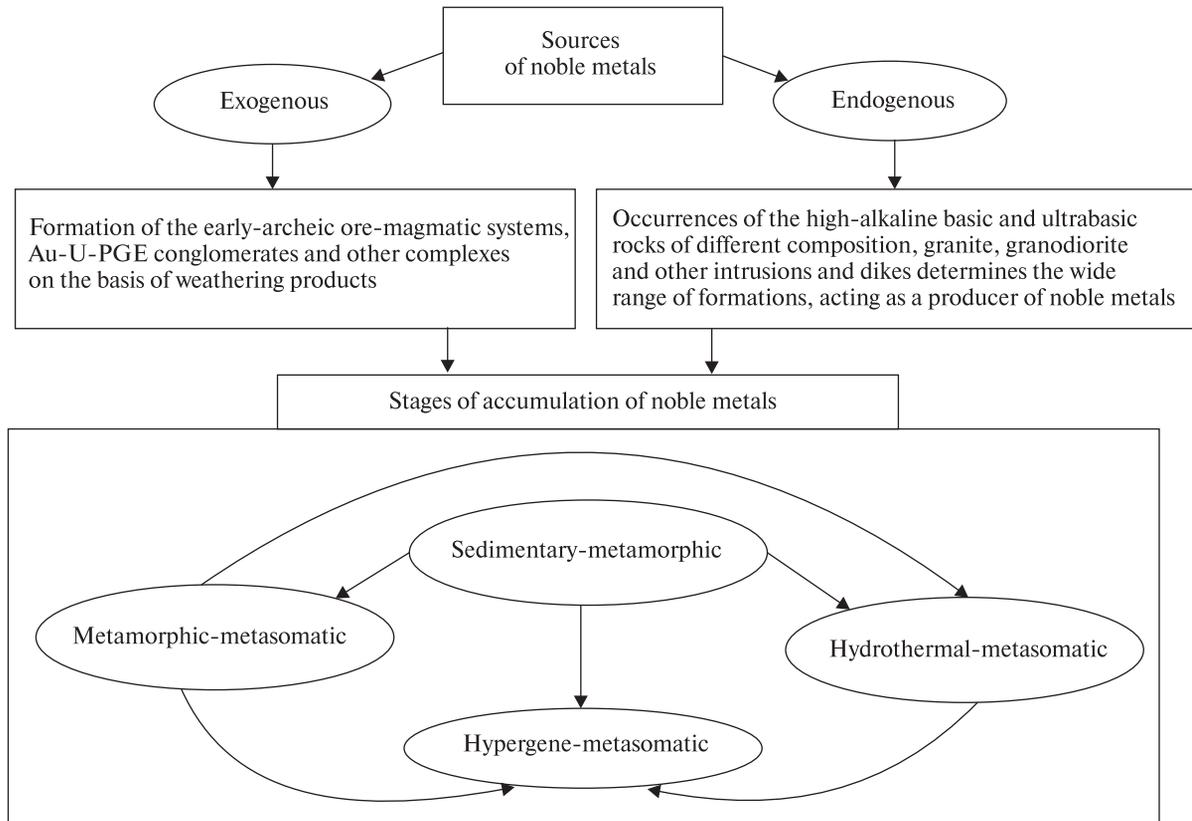


Рис. 5. Источники поступления рудного вещества и модель формирования благороднометалльного оруденения в железистых кварцитах, сланцах и метасоматитах рудных районов КМА

Fig. 5. Sources of ore material and a model of formation of the noble metal mineralization in the ferruginous quartzites, shales and metasomatites of the ore regions of KMA

безопасных технологий извлечения всего комплекса металлов [24].

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. Это — один из критериев, указывающих на принадлежность золото-платинометалльного оруденения к единой длительно формирующейся благороднометалльной рудообразующей системе.

Геолого-генетическая модель формирования единой рудообразующей системы золото-платинометалльного оруденения в железистых кварцитах и черных сланцах КМА. Следует подчеркнуть, что особенность строения и состава железных руд и сланцев в пределах месторождений рудных районов, а также общие закономерности размещения благороднометалльной минерализации определяются пространственной сопряженностью железорудных рифтогенных структур нижнего карелия с реактивизирован-

ными золото-платиноносными позднеархейскими зеленокаменными поясами. Многостадийную природу благороднометаллосодержащих железистых кварцитов и ассоциирующих с ними пород определяют полицикличность развития и многостадийность палеопротерозойской тектоно-магматической активизации. 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 золото-платинометалльного оруденения, принадлежащего к различным геолого-генетическим типам [2]. Сопряженность со структурами архейских СВК-продуцентов сказалась не только на особенностях типов и составе железистых кварцитов и ассоциирующих с ними пород в пределах месторождений Михайловского и Старооскольского рудных районов. В их числе некоторые метасоматиты, сохранившие, несмотря на многостадийность их формирования в условиях меняющихся гео-

динамических режимов тектоно-магматической активизации и метаморфических преобразований, основные признаки распределения в них платиноидов (соотношение тяжелых и легких — прежде всего Pd/Pt).

Комплекс структурно-вещественных признаков: закономерности размещения, идентичность минерального состава, формы нахождения ЭПГ и Au в железистых кварцитах, углеродистых сланцах и вулканитах, близкие соотношения стабильных изотопов С, О, S, РТ-условия образования силикатных и рудных минеральных парагенезисов и др., свидетельствует о формировании разных типов единой

благороднометалльной рудообразующей системы в условиях сопряженной длительной деятельности нескольких разнородных источников рудных элементов [13, 15, 17, 18, 26].

Это соотношение наследует параметры, характерные для залегающих ниже по разрезу мезо-неоархейских структурно-вещественных комплексов, и прежде всего характер распределения и значение отношения Pd/Pt, в частности коматиитсодержащего Белгородско-Михайловского зеленокаменного пояса, с которым пространственно сопряжен Железногорский рудный район (табл. 4), и Орловско-Тимской ЗП. Породная ассоциация последне-

Таблица 5. Результаты микрозондового анализа минералов золото-платиноносных колчеданных руд (авильский тип), по [26], мас. %

Table 5. The results of microprobe analysis of minerals of gold-platinum-sulfide ores (Avilsky type), on [26], wt. %

Номер п/п	Pd	Au	Ag	Te	Ni	Co	Fe	Cu	Zn	Hg	Sn	Mn	S	Se	Bi	Sb	As	Σ
1	23,20	9,11	—	0,03	—	—	—	0,76	—	—	—	—	—	—	—	66,78	—	99,88
2	22,10	9,40	—	0,12	—	—	—	0,94	—	—	—	—	—	—	—	67,00	0,06	99,62
3	—	57,60	37,30	—	—	—	0,70	1,30	—	0,33	—	—	0,50	—	—	—	—	98,23
4	—	46,54	47,17	0,94	—	—	—	—	—	5,16	—	—	—	—	—	—	—	99,81
5	—	63,95	35,85	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99,80
6	0,05	47,18	47,82	0,43	—	—	—	0,05	—	4,41	—	—	—	—	—	—	—	99,94
7	—	—	60,80	37,80	—	—	—	0,80	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99,40
8	—	—	62,58	36,87	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	99,54
9	—	—	—	—	23,45	2,92	1,28	0,48	—	—	—	—	14,35	—	0,03	56,93	0,06	99,70
10	—	—	—	—	23,84	1,97	1,99	0,18	0,20	—	—	—	14,50	—	—	57,40	—	99,88
11	—	—	—	—	—	—	12,50	28,70	1,64	—	28,36	—	29,25	—	—	—	—	100,45
12	—	—	—	—	—	—	13,00	29,27	0,40	—	27,64	—	29,69	—	—	—	—	100,00
13	—	—	—	—	—	—	9,30	0,17	48,30	—	—	8,20	33,72	—	—	—	—	99,69
14	—	—	0,01	—	—	—	29,95	34,60	—	—	—	—	34,86	—	—	—	—	99,81
15	—	—	—	—	—	—	30,19	34,73	0,84	—	—	—	34,21	—	—	—	—	99,47
16	—	—	0,02	—	—	—	30,31	34,34	—	—	—	—	34,82	—	—	—	—	99,49
17	—	—	0,04	—	—	—	30,30	34,54	—	—	—	—	34,80	—	—	—	—	99,68
18	—	—	0,02	—	—	—	30,19	34,60	—	—	—	—	35,00	—	—	—	—	99,81
19	—	—	—	—	0,50	0,70	30,39	34,17	—	—	—	—	34,45	—	—	—	—	99,13
20	—	—	—	—	—	0,10	60,85	—	—	—	—	—	38,70	—	—	—	—	99,66
21	—	—	—	—	0,04	0,03	59,70	0,16	—	—	—	—	40,25	—	—	—	—	100,18
22	—	—	—	—	—	0,03	59,80	—	—	—	—	—	39,20	—	—	—	—	99,03
23	—	—	—	—	0,10	0,08	59,80	—	—	—	—	—	39,15	—	—	0,04	0,11	99,28
24	—	—	—	—	0,17	0,11	61,02	—	—	—	—	—	39,62	—	—	—	—	100,92

Примечание. 1, 2 — unnamed antimonide of Pd and Au (borehole 7523/6); 3–6 — elektrum (borehole 7523/4, 7523/6, 7530/4); 7, 8 — hessite (borehole 7523/4, 7523/6); 9, 10 — ullmannite (borehole 7523/4); 11, 12 — stannite (borehole 7523/4, 7523/6); 13 — manganeseiferous sphalerite (borehole 7523/4); 14–19 — chalcopyrite (borehole 7523/4, 7523/6, 7530/4); 20–24 — pyrrhotite (borehole 7523/4, 7523/6, 7530/4). Laboratory of IGEM of RAS, analyst I.P. Laputina.

Note. 1, 2 — unnamed antimonide of Pd and Au (borehole 7523/6); 3–6 — elektrum (borehole 7523/4, 7523/6, 7530/4); 7, 8 — hessite (borehole 7523/4, 7523/6); 9, 10 — ullmannite (borehole 7523/4); 11, 12 — stannite (borehole 7523/4, 7523/6); 13 — manganeseiferous sphalerite (borehole 7523/4); 14–19 — chalcopyrite (borehole 7523/4, 7523/6, 7530/4); 20–24 — pyrrhotite (borehole 7523/4, 7523/6, 7530/4). Laboratory of IGEM of RAS, analyst I.P. Laputina.

го представлена в основном бимодальной базальт-риодацитово-формацией и туфами. В его пределах располагается Старооскольский железорудный район (Лебединское, Стойленское рудопроявления и др.).

Важный источник благородных металлов при формировании золото-платинометаллической рудообразующей системы здесь — докур-

ские химически зрелые коры выветривания пород мезо- и неогархейских структур, в том числе плагиограниты салтыковского типа и сложный по составу и строению обоянский комплекс. Результаты пяти анализов разных по составу цемента и содержанию сульфидов кварцевых конгломератов, конгломератов и перекрывающих их алевросланцев стойлен-

Таблица 6. Рудопроявления и точки благороднометаллической минерализации, ассоциирующей с конгломератами стойленской свиты курской серии Старооскольского рудного района КМА

Table 6. Ore occurrences and noble metal mineralization points, associated with conglomerates of Stoylenskaya formation of Kursk series of the Starooskolsky deposit cluster of the KMA

Номер		Содержание ведущих элементов, г/т	Название и краткая характеристика проявления
п/п	скважины, интервал опробования, м		
1	6192 (184,2—185,4)	Au — 4,75	Южно-Коробковское рудопроявление золота, кобальта, серебра
2	Ствол шахты № 4 (валовая проба) 17-А; 6068, 6069	Au — 0,25 Au — 0,1—1,3 Геохимическая аномалия — Au 0,1—1,0, As — 0,01—0,10	Золотоносные конгломераты с существенно кварцевым составом гальки и сульфидно-слюдисто-кварцевым цементом, обогащенным цирконом и рутилом
3	6066: Три пласта мощностью 2,5—4 м 40-А (445,65—455,9) 2166 (251,0—328,0)	Au — 0,1—0,33 Au — 1 Au до 0,1; Cu до 0,15	Три пласта золотоносных конгломератов в стойленской свите мощностью 2,5—4 м. Пласт сульфидизированных конгломератов
4	304-А (238—238,25) 310-А 6192 35-А (529,85—530,4) 2-А	Au — 0,45 Au до 0,3 Au до 0,3 Au — 0,3 Au — 0,1	Юго-восточно-Лебединское рудопроявление: а) зона стратиграфического контакта порфиридов лебединской свиты и сульфидизированных золотоносных метаконгломератов стойленской свиты; б) сульфидизированные метаконгломераты стойленской свиты
5	14-А (407,55—408,25)	Au — 1	Западно-Стойленское рудопроявление в пиритизированных метапесчаниках и метагравелитах
6	43-А (470,0—585,9)	Au до 0,1	Южно-Стойленско-Лебединское рудопроявление в метапесчаниках и метаконгломератах с вкрапленностью сульфидов
7	10-А (202,0—213,4)	Au до 1	Южно-Лебединское рудопроявление в метаконгломератах с вкрапленностью сульфидов
8	309-А (645,3—691,3)	Au — 0,1—0,4, до 3 (по мощности 1 м), ЭПГ до 0,03	Александровское рудопроявление золота. Сближенные слои (1—15,7 м) золотоносных метаконгломератов с сульфидно-серицит-кварцевым цементом в базальной толще (мощностью 102 м) стойленской свиты курской серии
9	584; 812; 892; 962	Площадная геохимическая аномалия Au до 0,1—0,3	Минерализация золота в метаконгломератах и метапесчаниках с вкрапленностью сульфидов

Примечание. Таблица составлена по материалам Н.Д. Кононова, О.И. Гаврилова, Г.В. Писемского, А.П. Дьяченко, В.В. Двойнина и др.

Note. The Table is based on materials of N.D. Kononov, O.I. Gavrillov, G.V. Pisemsky, A.P. Dyachenko, V.V. Dvoynin et al.

ской свиты (опробованы в Лебединском желе-
зородном карьере) показали постоянное при-
сутствие Au и ЭПГ, преобладание Pd над Pt,

повышенное содержание Ru, Ir, Ag (табл. 5, 6).
На отдельных участках (Южно-Коробковское
месторождение) с высокой концентрацией Au

Таблица 7. Содержание благородных металлов в разных типах железистых кварцитов Михайловского месторождения [21]

Table 7. Concentrations of noble metals in different types of ferruginous quartzites of Mikhailovskoye deposit [21]

Номер п/п	Название породы	Химико-спектральный анализ, г/т			
		Au	Pt	Pd	Pd/Pt
1	Гематитовый кварцит	0,18(3)	0,14(3)	0,10(3)	0,71
2	Магнетитовый кварцит	0,005(2)	0,05(3)	0,03(3)	0,60
3	Безрудный кварцит	0,02(2)	0,03(2)	0,01(3)	0,33
4	Малорудный кварцит	0,05(3)	0,03(3)	0,02(3)	0,67
5	Железнослюdkово-магнетитовый кварцит	1,27(2)	0,12(2)	0,04(2)	0,33
6	Силикатно-магнетитовый кварцит	1,87(2)	0,04(2)	0,02(2)	0,02
7	Карбонатно-магнетитовый кварцит	0,14	0,05	<0,02	—

Таблица 8. Содержание благородных металлов в разных типах железистых кварцитов и сопутствующих им породах Лебединского месторождения [25], г/т

Table 8. Concentrations of noble metals in different types of ferruginous quartzites and related types of rocks of Lebedinskoye deposit [25], g/t

Компонент	1 (1)	2 (1)	3 (2)	4 (1)	5 (1)	6 (2)	7 (3)	8 (3)	9 (1)	10 (1)	11 (1)	12 (1)
Pt	0,12	0,03	0,03	0,01	0,04	0,03	0,04	0,09	0,11	0,22	0,38	<0,03
Pd	0,005	0,15	0,11	0,13	0,005	0,17	0,37	0,32	0,50	0,14	0,10	0,26
Au	0,37	0,56	0,19	0,05	0,19	0,13	0,15	0,13	0,22	0,10	0,04	0,05
Rh	Н. о.	Н. о.	Н. о.									
Pt + Pd + Au	0,49	0,74	0,33	0,19	0,23	0,33	0,56	0,54	0,83	0,44	0,52	0,34
Pd/Pt	0,04	5,00	3,70	1,30	0,12	5,60	9,20	3,60	4,50	0,64	0,26	8,60

П р и м е ч а н и е. Порода: 1, 3 — силикатно-магнетитовый кварцит; 2 — гематит-магнетитовый кварцит; 4, 5 — малорудный кварцит; 6 — железистый кварцит из зоны контакта с углеродсодержащими (внутрирудными) сланцами; 7 — внутрирудные сланцы; 8 — лебеденит; 9—12 — метасоматические жильные образования. Н. о. — не определялось. Анализы выполнены в лаборатории ИГЕМ РАН, спектрохимический метод, аналитик Г.Е. Белоусов.

Note. Rock: 1, 3 — silicate-magnetite quartzite; 2 — hematite-magnetite quartzite; 4, 5 — low-ore quartzite; 6 — ferruginous quartzite from zone of contact with carboniferous (intraore) shales; 7 — intraore shales; 8 — lebedenite; 9—12 — metasomatic vein formations. Н. о. — no determined. Analyses were performed in the Laboratory of IGEM of RAS, spectrochemical method, analyst G.E. Belousov.

Таблица 9. Содержание благородных металлов в разных типах и разновидностях железистых кварцитов Стойленского месторождения [10], г/т

Table 9. Concentrations of noble metals in different types of ferruginous quartzites of Stoylenskoye deposit [10], g/t

Номер образца	Au	Pt	Pd	Rh	Ir	Pd/Pt	Номер образца	Au	Pt	Pd	Rh	Ir	Pd/Pt
СТ-39	0,15	0,0046	0,043	0,024	0,005	9,35	М-561	0,26	0,03	0,04	0,0005	0,0005	1,33
526/1	0,045	0,03	0,1	0,0005	0,0005	3,33	528	0,56	0,03	0,15	0,0005	0,0005	5,00
529/1	0,24	0,03	0,2	0,0005	0,0005	6,67	М-131	0,13	0,02	0,04	Н. о.	Н. о.	2,00
М-127	0,05	0,01	0,13	Н. о.	Н. о.	13,00	СТ-9	0,35	0,0068	0,022	0,0034	0,0002	3,24
М-560	0,09	0,04	0,11	0,002	0,0005	2,75	СТ-14	0,51	0,025	0,204	0,0002	0,000	8,16
СТ-105	1,75	0,001	0,002	Н. о.	Н. о.	2,00	353	0,13	0,015	0,06	0,0005	0,0005	4,00
118	0,12	0,015	0,07	0,0005	0,0005	4,67	СТ-139	0,13	0,025	2,19	Н. о.	Н. о.	87,60
137	0,1	0,015	0,07	0,0005	0,0005	4,67							

(до 3—8 г/т) содержание ЭПГ составляет 0,5 г/т. По характеру продуктов докурских кор выветривания — продуцентов благороднометалльной конгломератокварцитово-формации, особенностям ее внутреннего строения и состава, общему металлогеническому облику (Au, ЭПГ, U) и характеру распределения золота и платиноидов ($Au > Pd > Pt \geq Ru, Ir > Rh$), ассоциирующих преимущественно с сульфидами, конгломераты КМА подобны конгломератам U-Au-Pt формации Витватерсранда (Ю. Африка), Блейнд-Ривера (Канада), Жакобины (Бразилия).

Существенные различия внутреннего строения СВК Белгородско-Михайловского и Орловско-Тимского ЗП заметно сказались на условиях предрифтового палеопротерозойского этапа формирования железистых кварцитов КМА, их составе и на характере распределения благородных металлов, значении отношения Pd/Pt (табл. 7) при однотипном составе литофациальных фаз [13, 18, 25, 26] (табл. 7—9).

Одним из продуцентов благородных металлов, несомненно, выступают СВК зеленокаменных структур мезо- и неогархея, с которыми, как отмечалось, сопряжена железисто-кремнисто-сланцевая формация (курская серия) с известными железорудными месторождениями-гигантами КМА. В совокупности эти источники (рис. 2) определяют принадлежность золото-платинометалльного оруденения в железистых кварцитах и пространственно совмещенных с ними углеродистых сланцах рудных районов к единой полигенной и полихронной [15, 17, 19] длительно формирующейся золото-платинометалльной рудообразующей системе.

Таким образом, в пределах ВКМ золото-платинометалльное оруденение в железистых кварцитах и сланцах выявлено в составе всех структурно-вещественных комплексов раннего докембрия. Наиболее высокая концентрация благородных металлов связана с осадочными, терригенно- и вулканогенно-осадочными породными ассоциациями курской и оскольской серий раннепротерозойских интракратонных складчато-глыбовых структур КМА, пространственно сопряженных с позднеархейскими зеленокаменными поясами (Белгородско-Михайловским и Орловско-Тимским). Установлены характерные особенности золото-платиноносных структурно-формационных зон, в которых расположены Лебединское и Стойленское месторождения Михайловского и Старооскольского рудных районов: а) полицикличность и

многостадийность развития с резким преобладанием терригенно-осадочных отложений на ранних стадиях и возрастающей ролью углеродистых вулканогенно-осадочных и вулканических образований на поздних стадиях их формирования; б) широкое развитие сопряженных во времени с формированием железистых кварцитов и сланцев — разновозрастных и разных по составу вулканоплутонических ассоциаций; в) высокая степень интенсивности проявления разломных нарушений разного порядка, выступающих в качестве рудоконтролирующих элементов; г) низкоградиентный тип метаморфизма биотитовой субфации зеленосланцевой и эпидот-амфиболитовой фаций, способствующий перераспределению и накоплению рудного вещества. В совокупности эти факторы определяют источники элементов, условия формирования, стадийность, минеральный состав, геолого-генетические типы благороднометалльной минерализации, структуру модели рудообразующей системы.

Впервые приведена обобщенная модель формирования благороднометалльной рудообразующей системы для разных по генетической принадлежности источников вещества. Выделены шесть геолого-генетических типов: 1) осадочно-метаморфогенный; 2) метаморфогенно-метасоматический; 3) гидротермально-метасоматический; 4) гипергенно-метасоматический; 5) осадочный; 6) техногенный.

Золото-платинометалльное оруденение в железистых кварцитах и сланцах КМА характеризуется сложным полиминеральным (более 60 минералов) и многокомпонентным составом. Определяющими особенностями благороднометалльного оруденения в железистых кварцитах и сланцах служат многообразие форм концентрирования и широкое развитие (свыше 30) собственных минеральных фаз ЭПГ, Au и сопутствующих им элементов (Ag, Te, Bi) в виде самородных металлов (Au, Os, Ru, Ir, Bi), металлических твердых растворов, интерметаллических и других типов соединений. Постоянным присутствием примесей благородных металлов характеризуются сульфиды и сульфоарсениды, что требует разработки принципиально новых экологически безопасных технологий извлечения всего комплекса металлов.

Установлено, что в качестве источников (продуцентов) платиноидов, золота, серебра, выступает ряд благороднометаллоносных рудных формаций мезо- и неогархейских

структурно-вещественных комплексов, а также широко развитые палеопротерозойские вулкано-интрузивные образования.

Сопряженность со структурами архейских СВК сказалась не только на особенностях типов и составе железистых кварцитов и ассоциирующих с ними пород, которые, несмотря на многостадийность формирования в условиях меняющихся геодинамических режимов тектономагматической активизации и метаморфических преобразований, сохранили основные признаки распределения в них платиноидов (соотношение тяжелых и легких — прежде всего Pd/Pt) в пределах месторождений Михайловского (0,02—0,71) и Старооскольского рудных районов (до 8, 6 и более).

Комплекс структурно-вещественных признаков: закономерности размещения, идентичность минерального состава, формы нахождения ЭПГ и Au в железистых кварцитах, углеродистых сланцах и вулканитах, близкие значения соотношения стабильных изотопов C, O, S, PT-условия образования силикатных и

рудных минеральных парагенезисов и др. свидетельствует о формировании разных типов единой полигенной и полихронной благороднометалльной рудообразующей системы в условиях сопряженной длительной деятельности нескольких разнородных источников рудных элементов.

Регион КМА с развитой инфраструктурой — наиболее крупный в России горнорудный район с реальными возможностями попутного извлечения золота и платиноидов из железистых кварцитов, сланцев и сопутствующих продуктов. Он может стать надежной основой для создания новой Центрально-Европейской базы золото-платинодобычи с целью обеспечения минерально-сырьевой безопасности страны и долгосрочного устойчивого социально-экономического развития крупного региона России.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках государственного задания ВУЗам в сфере научной деятельности на 2014—2016 годы (проект № 853).

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурак 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., Золоев К.К., Коротеев В.А., Чернышов Н.М. Углеродсодержащие формации — новый крупный источник платиновых металлов XXI века. — М.: Геоинформмарк, 2007. — 130 с.
4. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометалльные месторождения России. — СПб.: Наука, 2000. — 755 с.
5. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Чередникова О.И. Металлогения платиноидов крупных регионов России. — М.: Геоинформмарк, 2001. — 302 с.
6. Железные руды КМА / Под ред. В.П. Орлова. — М.: Геоинформмарк, 2001. — 616 с.
7. Кулиш Е.А., Галий С.А., Комов И.Л., Лебедь Н.И., Юшин А.А., Ширинбеков Н.К. Платиноносность геологических комплексов Украины // Аспекты минерагении Украины. — Киев: ОНЗ, 1998. — С. 329—346.
8. Рудашевский Н.С., Кнауф В.В., Чернышов Н.М. Минералы платиновой группы из черных сланцев КМА // Докл. РАН. — 1995. — 334, № 1. — С. 91—95.
9. Сафонов Ю.Г. Золоторудные и золотосодержащие месторождения мира — генезис и металлогенетический потенциал // Геология руд. месторождений. — 2003. — 45, № 4. — С. 305—320.
10. Созинов Н.А., Чистякова Н.Н., Казанцев В.А. Металлоносные черные сланцы Курской магнитной аномалии. — М.: Наука, 1988. — 149 с.
11. 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: Материалы Всерос. симп. — М., 2002. — С. 381—384.
12. Холин В.М. Геология, геодинамика и металлогения раннепротерозойской структуры КМА: Автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. — Воронеж, 2001. — 24 с.
13. 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. геол. — 1996. — № 1. — С. 114—132.
14. Чернышов Н.М. Формационно-генетическая типизация платинометалльного оруденения и перспективы наращивания минерально-сырьевого потенциала платиновых металлов России // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. — 1996. — № 2. — С. 75—85.
15. Чернышов Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). — Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. — 448 с.

16. Чернышов Н.М. Благороднометаллысодержащие парагенезисы сульфидов и их аналогов в железорудных месторождениях КМА (Центральная Россия) // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. геол. — 2007. — № 1. — С. 101—114.
17. Чернышов Н.М. Золото-платинометалльное оруденение черносланцевого типа Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). — Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2007. — 177 с.
18. Чернышов Н.М. Минералы благородных металлов в рудах черносланцевого типа Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) // Зап. РМО. — 2009. — СXXXVI, № 1. — С. 36—51.
19. Чернышов Н.М. Типы и минеральный состав золото-платинометалльного оруденения железорудных месторождений-гигантов КМА (Центральная Россия) // Докл. РАН. — 2010. — **430**, № 3. — С. 395—399.
20. Чернышов Н.М., Додин Д.А. Формационно-генетическая типизация месторождений металлов платиновой группы для целей прогноза и металлогенического анализа // Геология и геофизика. — 1995. — **36**, № 1. — С. 65—70.
21. Чернышов Н.М., Изюитко В.М., Петров С.В., Молотков С.П. Первые находки минеральных форм элементов платиновой группы в железистых кварцитах КМА (Центральная Россия) // Докл. РАН. — 2003. — **391**, № 1. — С. 104—107.
22. Чернышов Н.М., Кузнецов В.С., Петров С.В. Новые данные о минеральном составе благороднометалльного оруденения Стойленского железорудного месторождения КМА (Центральная Россия) // Докл. РАН. — 2009. — **428**, № 6. — С. 801—804.
23. Чернышов Н.М., Кузнецов В.С. Сульфидная минерализация, содержащая благородные металлы, в межрудных сланцах Стойленского железорудного месторождения // Изв. ВУЗов. Сер. геология и разведка. — 2011. — № 2. — С. 17—23.
24. Чернышов Н.М., Моисеенко В.Г., Абрамов В.В. Новые минералы платиноидов в черносланцевых комплексах тимского типа (КМА) // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. геол. — 2007. — № 2. — С. 152—158.
25. Чернышов Н.М., Петров С.В. Новые минеральные формы платиноидов и золота в железистых кварцитах Лебединского месторождения КМА (Центральная Россия) // Докл. РАН. — 2006. — **408**, № 4. — С. 586—589.
26. Чернышов Н.М., Пономарева М.М. Роль первичных источников (продуцентов) при формировании благороднометалльного оруденения в железорудных месторождениях КМА // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. геол. — 2012. — № 1. — С. 108—115.
27. Чернышов Н.М., Пономарева М.М. Новые данные о формах нахождения благородных металлов в коре выветривания железистых кварцитов Михайловского месторождения КМА (Центральная Россия) // Докл. РАН. — 2012. — **443**, № 3. — С. 1—5.
28. Чернышов Н.М., Чернышова М.Н. Платиноносные формации Воронежского кристаллического массива и их место в общей модели формирования докембрийской литосферы (Центральная Россия) // Платина России : Сб. науч. тр. — Красноярск, 2011. — Т. VII. — С. 161—181.
29. 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. : Геоинформмарк, 1999. — Т. III, кн. 2. — С. 289—294.
30. Юшин А.А., Лебедь Н.И. Платина Украины: история, состояние, перспективы // Минерал. журн. — 1998. — **20**, № 1. — С. 130—138.

Поступила 16.12.2014

REFERENCES

1. Buryak, V.A., Mikhailov, B.K. and Tsymbalyuk, N.V. (2002), *Rudy i metally*, No. 6, Moscow, pp. 25-36.
2. Dvoynin, V.V., Dunai, E.I. and Voevoda, I.I. (1993), *Razvedka i ohrana nedr*, No. 9, Moscow, pp. 12-14.
3. Dodin, D.A., Zoloyev, K.K., Koroteev, V.A. and Chernyshov, N.M. (2007), *Uglerodsoderzhashie formacii - novyi krupnyi istochnik platinovih metallov XXI veka*, Geoinformmark, Moscow, 130 p.
4. Dodin, D.A., Chernyshov, N.M. and Yatskevich, B.A. (2000), *Platinometallniye mestorozhdeniya Rossii*, Nauka, Saint-Petersburg, 755 p.
5. Dodin, D.A., Chernyshov, N.M. and Cherednikova, O.I. (2001), *Metallogeniya platinoidov krupnih regionov Rossii*, Geoinformmark, Moscow, 302 p.
6. Orlov, V.P. (ed.) (2001), *Zhelezniye rudv KMA*, Geoinformmark, Moscow, 616 p.
7. Kulish, E.A., Galij, S.A., Komov, I.L., Lebed', N.I., Yushin, A.A. and Shirinbekov, N.K. (1998), *Aspekty mineragenii Ukrainy*, ONZ, Kyiv, pp. 329-346.
8. Rudashevsky, N.S., Knauf, V.V. and Chernyshov, N.M. (1995), *Doklady RAN*, Moscow, Vol. 334 No. 1, pp. 91-95.
9. Safonov, Yu.G. (2003), *Geologiya rudnyh mestorozhdenij*, Vol. 45 No. 4, pp. 305-320.
10. Sozinov, N.A., Chistyakova, N.N. and Kazantsev, V.A. (1988), *Metallonosniye cherniye slantsi Kurskoi magnitnoi anomalii*, Nauka, Moscow, 149 p.
11. Tiginov, L.P. and Bykhovsky, L.Z. (2002), *Geologiya, genezis i voprosy osvoeniya kompleksnyh mestorozhdenij blagorodnyh metallov*, Moscow, pp. 381-384.
12. Holin, V.M. (2001), *Geologiya, geodinamika i metallogeniya ranneproteroziskoj struktury KMA*, Avtoref. diss. kand. geol.-mineral. nauk, Voronezh, 24 p.

13. Chernyshov, N.M. (1996), *Vestn. Voronezh, un-ta, Ser. geol.*, No. 1, pp. 114-132.
14. Chernyshov, N.M. (1996), *Vestn. Voronezh, un-ta, Ser. geol.*, No. 2, pp. 75-85.
15. Chernyshov, N.M. (2004), *Platinonosniye formacii Kursko-Voronezhskogo regoina (Centralnaya Rossiya)*, Izd-vo Voronezh. gos. un-ta, Voronezh, 448 p.
16. Chernyshov, N.M. (2007), *Vestn. Voronezh, un-ta, Ser. geol.*, No. 1, pp. 101-114.
17. Chernyshov, N.M. (2007), *Zoloto-platinometallnoye orudneniye chernoslancevogo tipa Kursko-Voronezhskogo regiona*, Izd-vo Voronezh. gos. un-ta, Voronezh, 177 p.
18. Chernyshov, N.M. (2009), *Zapiski RMO*, Vol. CXXXVI No. 1, pp. 36-51.
19. Chernyshov, N.M. (2010), *Doklady RAN*, Vol. 430 No. 3, pp. 395-399.
20. Chernyshov, N.M. and Dodin, D.A. (1995), *Geologiya i geofizika*, Vol. 36 No. 1, pp. 65-70.
21. Chernyshov, N.M., Izoitko, V.M., Petrov, S.V. and Molotkov, S.P. (2003), *Doklady RAN*, Vol. 391 No. 1, pp. 104-107.
22. Chernyshov, N.M., Kuznetsov, V.V. and Petrov, S.V. (2009), *Doklady RAN*, Vol. 428 No. 6, pp. 801-804.
23. Chernyshov, N.M. and Kuznetsov, V.S. (2011), *Izvestiya vyshih uchebnyh zavedenij, Ser.geologiya i razvedka*, No. 2, pp. 17-23.
24. Chernyshov, N.M., Moiseenko, V.G. and Abramov, V.V. (2007), *Vestn. Voronezh, un-ta, Ser. geol.*, No. 2, pp. 152-158.
25. Chernyshov, N.M. and Petrov, S.V. (2006), *Doklady RAN*, Vol. 408 No. 4, pp. 586-589.
26. Chernyshov, N.M. and Ponomareva, M.M. (2012), *Vestn. Voronezh, un-ta, Ser. geol.*, No. 1, pp. 108-115.
27. Chernyshov, N.M. and Ponomareva, M.M. (2012), *Doklady RAN*, Vol. 443 No. 3, pp. 1-5.
28. Chernyshov, N.M. and Chernyshova, M.N. (2011), *Platina Rossii, Sb. nauch. tr.*, Vol. VII, pp. 161-181.
29. Shelehov, A.N., Lyuchkin, V.A. and Lyahovkin, Yu.S. (1999), *Platina Rossii*, Vol. III, Book 2, pp. 289-294.
30. Yushin, A.A. and Lebed, N.I. (1998), *Mineralogical Journal (Ukraine)*, Vol. 20 No. 1, pp. 130-138.

Received 16.12.2014

М.М. Чернишов

Федер. держ. бюджет. освіт. установа вищ. проф. освіти
 "Воронезький державний університет"
 394006, м. Воронеж, Росія, Університетська пл., 1
 E-mail: petrology@list.ru

ЗОЛОТО-ПЛАТИНОМЕТАЛЕВЕ ЗРУДЕНІННЯ В ЗАЛІЗИСТИХ КВАРЦИТАХ І СЛАНЦЯХ КМА — СПІЛЬНА РУДОУТВОРЮВАЛЬНА СИСТЕМА

Наведено нові дані щодо структурно-речовинних комплексів палеопротерозою, що вміщують благородні метали, та їх парагенезисів у двох просторово роз'єднаних і різних за складом вмісних залізистих кварцитів і чорних сланців рудних районів Курської магнітної аномалії. Встановлено багатостадійний характер формування благороднометалевого зруденіння, визначено однотипний склад мінеральних фаз у залізистих кварцитах, сланцях і метасоматитах, що свідчить про приналежність їх до одної рудоутворювальної системи, яка тривалий час розвивалася. Наведено узагальнену модель формування благороднометалевої рудоутворювальної системи в умовах різних за генетичною приналежністю джерел речовини.

Ключові слова: благородні метали, мінералогія, залізні руди, вуглецеві сланці, типи зруденіння, рудоутворювальні системи, модель формування.

N.M. Chernyshov

Federal State Budget Educational Institution "Voronezh State University" (VSU)
 1, University Square, Voronezh, Russia, 394006
 E-mail: petrology@list.ru

GOLD-PLATINOID MINERALIZATION IN FERRUGINOUS QUARTZITES AND SHALES OF KURSK MAGNETIC ANOMALY — A SINGLE ORE-FORMING SYSTEM

New data on the Paleoproterozoic noble-metal-bearing structure-material complexes and their parageneses in two ore district of the Kursk Magnetic Anomaly, spatially separated and different in composition of enclosing ferruginous quartzites and black shales, are presented. A multi-stage character of the formation of noble-metal types of ores is established; the single type composition of the mineral phases in the ferruginous quartzites, shales and metasomatites is determined, that evidences for its belonging to a single long developing ore-forming system. The generalized model of the formation of the noble-metal-bearing ore-forming system in case of genetically variable sources of material is given.

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