

ПЛАТИНОНОСНЫЕ И ЗОЛОТО-ПЛАТИНОНОСНЫЕ ФОРМАЦИИ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ ФОРМИРОВАНИЯ ДОКЕМБРИЙСКОЙ ЛИТОСФЕРЫ

© 2012 г. Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова

Воронежский государственный университет
394006, г. Воронеж, Университетская пл., 1.
E-mail: petrology@list.ru

Поступила в редакцию 12.05.2011 г.

На основе ранее разработанной модели длительной многоэтапной (ранний и поздний архей, палеопротерозой) эволюции литосферы и формирования ее структурно-вещественных комплексов выявлена тесная взаимосвязь механизмов проявления геодинамических режимов и разнотипных благороднометалльных рудообразующих процессов. Установлены время и место формирования золото-платиноносных формаций в общей эволюции литосферы. Выявлены наиболее важные в промышленном отношении многочисленные по геолого-генетической принадлежности типы комплексных полиэлементных золото-платинородных месторождений и проявлений, связанных с наиболее интенсивными процессами структурной дифференциации земной коры в палеопротерозое. Приведены краткие сведения о закономерностях их размещения, составе, ресурсах и возможных перспективах освоения в XXI столетии.

Ключевые слова: геодинамика, эволюция литосферы, минералогия благородных металлов, Воронежский кристаллический массив.

Воронежский кристаллический массив (ВКМ) – крупный (540 × 1000 км) сегмент Восточно-Европейской платформы (ВЕП), включающий ряд разнотипных по геодинамическим режимам структур (раннеархейские гранит-зеленокаменные пояса – ЗП, специфические структуры палеопротерозоя с различными сценариями развития Хоперского и Курского мегаблоков и разделяющей их Лосевской шовной зоны (ЛШЗ) со сложным характером взаимодействия двух важнейших компонентов древнего основания ВЕП (Сарматия и Волго-Уралья)

(рис. 1, 2)), характеризуется высоким нераскрытым минерагеническим потенциалом природных и техногенных источников благородных металлов.

Пространственно и генетически связанные с разновозрастными и разнотипными породными ассоциациями разномасштабные платиноносные и платино-золотоносные месторождения и рудопроявления в совокупности образуют специфические рудообразующие системы (РС) – целостные природные сообщества рудных формаций, являющихся производными единых неоднократно повторяю-

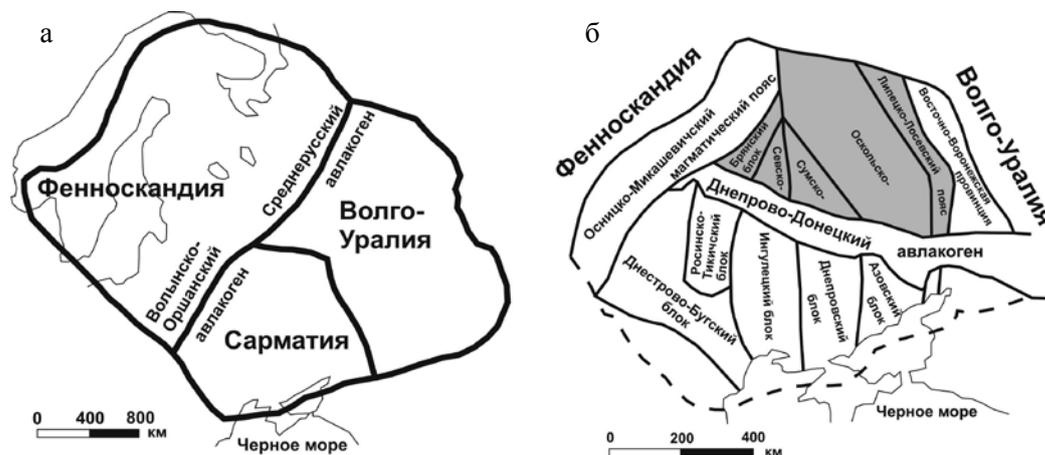


Рис. 1. Кристаллические сегменты Восточно-Европейского кратона [43] (а) и кристаллические домены Сарматии [41] (б).

Воронежский кристаллический массив (ВКМ) выделен темным цветом.

щихся во времени и пространстве петрорудногеохимических процессов. Вместе с тем, совместно с другими типами рудообразующих систем, они являются, по- существу, лишь составными частями определенных структурно-вещественных комплексов (СВК), объединяющих сопряженные во времени и пространстве стратифицированные метаморфические и вулкано-интрузивные породные ассоциации, которые в совокупности наиболее полно отражают специфику геодинамических и эндогенных режимов длительного (более 3 млрд. лет) формирования коры континентального типа [3, 6, 19, 22, 30, 31].

Пространственно-генетическая связь золото-платинометалльного оруденения с различными по составу и формационной принадлежности рудообразующими и рудоконтролирующими СВК, сформировавшимися в геодинамических режимах наиболее интенсивной эндогенной активности и структурной дифференциации земной коры, обуславливают в совокупности многообразие формационно-генетических типов платиносодержащих месторождений и рудопроявлений ВКМ (рис. 3, табл. 1), поливариантный характер распределения количественных содержаний элементов платиновой группы (ЭПГ) и Au, и соотношений их ассоциаций с сидерофильными и халькофильными элементами [6, 27, 29, 31]. Эти же факторы, контролирующие закономерности размещения и термодинамическую обстановку рудообразующих систем, определяют минералого-геохимический облик, масштабы и степень продуктивности благороднометалльного оруденения [3, 6, 21, 22, 25, 29, 30].

Подобно другим докембрийским структурам Земли [2, 3, 5, 6, 22, 29, 30] наиболее характерной особенностью минерализации ВКМ является тесная пространственно-временная связь, возрастание спектра рудных (в том числе платиноносных и золото-платиноносных) формаций и их продуктивности по мере последовательной смены механизмов геодинамических режимов формирования сравнительно мощной (43–50 км) слоистой блоковой коры континентального типа и ее длительной структурно-вещественной эволюции [9, 21, 22, 25, 30, 33, 34].

Раннеархейская эпоха становления литосферы связана с механизмом формирования своеобразных доменов межплюмового торшения и последующего многоэтапного их амальгамирования с образованием, в пределах ГЗО, континентальных разномаштабных нуклеократонов (Курско-Бесединский, Шептуховский, Комаричский и др.) с кружевным, характерным для ранних зеленокаменных поясов (ЗП-1) рисунком и высокой изменчивостью состава пород (рис. 4). Относительно слабая дифференцированность раннеархейской земной коры, преобладающий ареальный характер изотермических и изобарических условий проявления регионально-

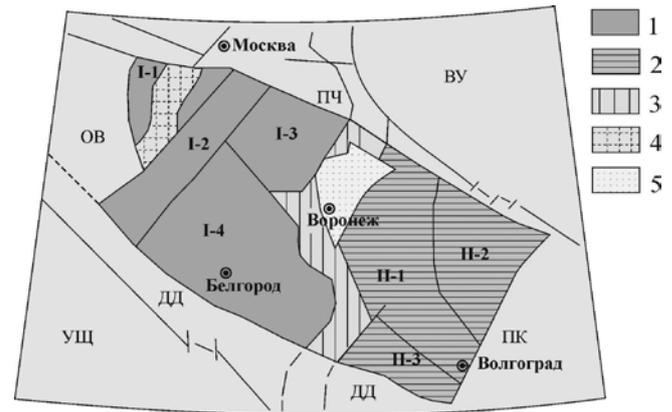


Рис. 2. Схема структурно-формационного районирования ВКМ [22, 38].

ВУ – Волго-Уральский сегмент, ПЧ – Пачелмский авлакоген, ПК – Прикаспийская впадина, ДД – Днепровско-Донецкий авлакоген, УЩ – Украинский щит, ОВ – Оршанская впадина. 1 – мегаблок КМА (макроблоки: I-1 – Красногорско-Рославльский, I-2 – Брянский, I-3 – Ливенско-Ефремовский, I-4 – Курско-Белгородский), 2 – Хоперский мегаблок (макроблоки: II-1 – Калач-Эртильский, II-2 – Камышинский, II-3 – Варваринский), 3 – Лосевская шовная зона, 4 – Вольско-Двинский вулканоплутонический пояс, 5 – Ольховско-Шукавская грабенсинклинальная структура.

го метаморфизма и ультраметаморфизма, сравнительно небольшое разнообразие формационных типов магматогенных пород, являющихся в основном вулкано-интрузивными дифференциатами примитивной коматит-базальтовой магмы, преобладающее развитие в составе СВК плагиогранито-гнейсовых образований, которые совместно с вулкано-интрузивными магматитами принадлежат, по существу, к единому геодинамическому континенту, определяют в совокупности ограниченное развитие рудных формаций (в том числе золото- и платиноносных), не имеющих, как правило, промышленного значения. С этим этапом связаны: а) сульфидная платиносодержащая медно-никелевая формация в перидотитах, пироксенитах ($Pt = 240$ мг/т, $Pd = 15$ мг/т, $Pd/Pt = 0.07$) и рудных горнблендитах ($Pt = 1300$ мг/т, $Pd = 360$ мг/т, $Pd/Pt = 0.28$) вулкано-интрузивной коматит-базальтовой породной ассоциации (бесединский тип; см. табл. 1); б) золото-платинометалльная (ЭПГ = около 5 г/т, $Au = 1.3–1.5$ г/т) в графитизированных гнейсах (обоянский тип; [16, 22, 25, 30]).

Формирование позднеархейских (неоархейских) зеленокаменных поясов на сравнительно маломощной коре сопровождалось возрастанием степени дифференцированности и латеральной неоднородности в процессе энсиалического рифтогенеза и сопряженных с ним термодинамических обстановок глубинного петрогенезиса обусловили [16, 19, 22, 29, 30, 31] появление заметно большего разнообразия СВК, усложнение состава и структуры слагающих их формационных рядов магматиче-

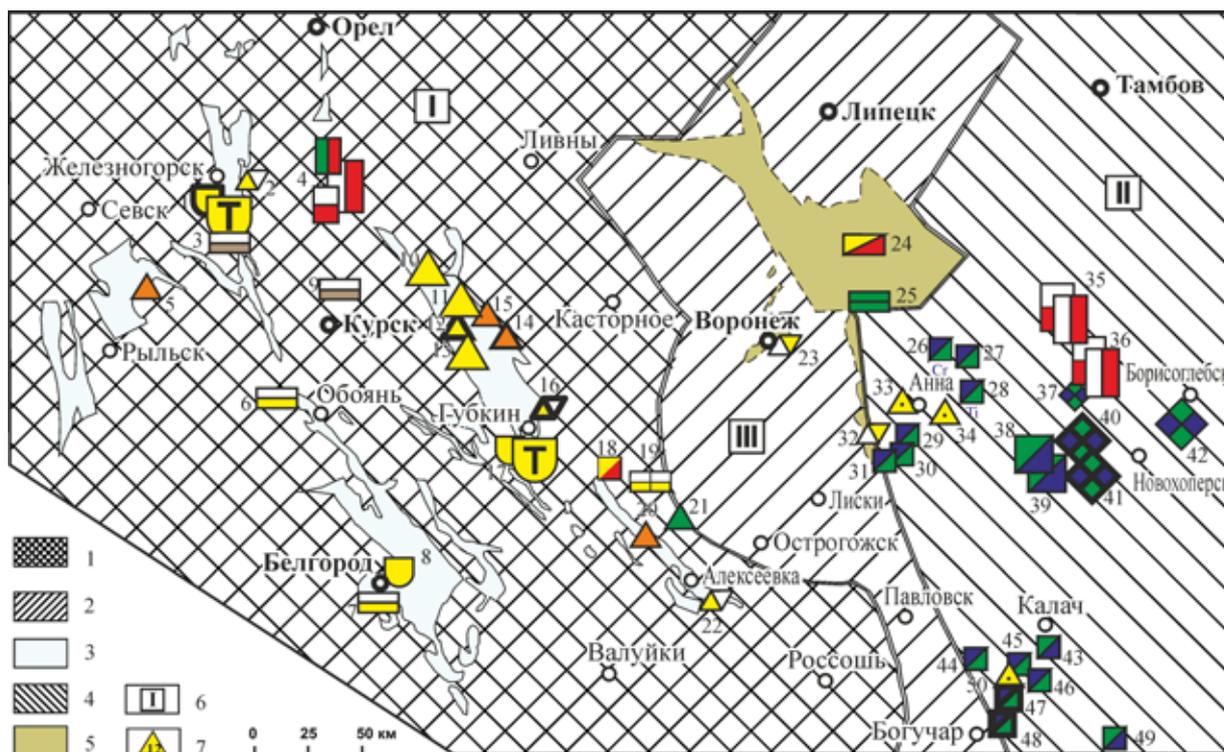


Рис. 3. Прогнозно-минерагеническая карта размещения платинометалльного и золото-платинометалльного оруденения докембрия Воронежского кристаллического массива [22, 38].

1 – СВК архейского основания; 2 – СВК Лосевской шовной зоны; 3–5 – Раннекарельские вулканогенно-терригенные комплексы: этапа рифтогенеза (3), этапа эпикратонного прогибания пассивной континентальной окраины (4), вулканогенно-осадочные и интрузивные комплексы раннеплатформенного, тафрогенного этапа (5); 6 – мегаблоки ВКМ: I – КМА, II – Хоперский, III – Лосевская шовная зона. 7 – Месторождения, рудопроявления и потенциально рудоносные участки: 1 – Железногорский рудный узел, 2 – Гремячинский, 3 – Жидеевский, 4 – Смородинский, 5 – Студеновский, 6 – Косиновский, 7 – Олимпийский, 8 – Сев. Висловский, 9 – Курско – Бесединский, 10 – Сергиевский, 11 – Луневский, 12 – Тимской, 13 – Погоженский, 14 – Кшенский, 15 – Луговской, 16 – Коробковский, 17 – Лебединско – Стойленский, 18 – Дубравинский, 19 – Авильский, 20 – Волотовский, 21 – Вост. Волотовский, 22 – Алексеевский, 23 – Воронежский, 24 – Ольховский, 25 – Шукавский, 26 – Садовский, 27 – Вост. Садовский, 28 – Моховской, 29 – Шишковской, 30 – Астаховский, 31 – Песковатский, 32 – Икорецкий, 33 – Рябиновско-Большемартыновский, 34 – Анненский, 35 – Новогольский, 36 – Жердевский, 37 – Троицкий, 38 – Елань-Коленовский, 39 – Центральный, 40 – Еланский, 41 – Елкинский, 42 – Уваровский, 43 – Ширяевский, 44 – Нижнемамонский, 45 – Артоховский, 46 – Бычковский, 47 – Юбилейный, 48 – Подколодновский, 49 – Пионерский (Липов Куст), 50 – Сухой Яр. Условные знаки см. табл. 1.

ских и метаморфических породных ассоциаций, существенное расширение спектра и продуктивности рудных, в том числе благороднометаллосодержащих, формаций (рис. 5; табл. 1). В их числе: а) платиноносная сульфидно-медно-никелевая (син- и эпигенетического типов), ассоциирующая с коматитами михайловской серии ($Pt = 60$ мг/т, $Pd = 24$ мг/т, $Pd/Pt = 0.58$) и комагматичными им интрузивными ультрамафитами ($Pt = 110-140$ мг/т, $Pd = 23-75$ мг/т, $Au = 30$ мг/т, $Pd/Pt = 0.40$), представляющими собой лишь отдельные члены единой РМС (олимпийский тип, табл. 1); б) золото- и палладийсодержащая колчеданная ($Au = 1.2$ г/т, $ЭПГ = 0.27$ г/т) среди основных вулканитов михайловской серии (авильский тип); в) золоторудная сульфидно-кварцевая в средних и кислых вулканитах и железисто-кремнистых породах (южнореутецкий тип), характеризующаяся: а) повышенными содержаниями Au (1–25 г/т) в березитизированных полевошпат-кварцевых орто-

ланцах с различными по мощности зонами сульфидсодержащего кварцевого прожилкования, кварцевых жилах (мощностью до 0.3 м) среди слюдистых гнейсов ($Au = 2.3$ г/т) и слюдисто-кварцевых сланцах ($Au = 1.0$ г/т); б) постоянным присутствием (помимо пирита, халькопирита, пирротина, арсенопирита, молибденита, галенита, сфалерита, реже ульманита, станнина) самородных и минеральных фаз Au , Ag , Pd (электрум, антимонид Au и Pd – неназванный минерал, гессит и др.).

Геодинамика и минерагения платиноносных формаций в общей модели эволюции литосферы в раннем протерозое во многом определялись разноранговыми по своей тектонической природе структурами КМА, Хоперского мегаблока и Лосевской шовной зоны (рис. 2).

В формировании литосферы структуры КМА в раннем протерозое отчетливо выделяется [13] четыре этапа – протоплатформенный, континенталь-

Таблица 1. Ведущие типы промышленных и потенциально-промышленных платиноносных формаций ВКМ (Центральная Россия)

Платино- и золото-платиноносная формация	Тип ассоциации	Типы (подтипы) месторождений (проявлений) и их номера на рис. 3.	Преобладающая геологическая формация	Рудомещающие породы, условия локализации	Месторождения и проявления			
					Установленные		Прогнозируемые	
					Крупные	Средние и мелкие	Крупные	Средние и мелкие
Класс эндогенных Группа собственно магматогенных								
Сульфидная платиноидно-медно-никелевая	Pt-Pd	Смординско-новогольский (35, 36)	Тралловая (троктолит-габбродолеритовая)	Нижние горизонты высокомагнезиальных ликрит-троктолит-габбродолеритовых (тралловых) дифференцированных интрузий смординского и новогольского комплексов				
		Шукавский (25)	Габбро-верлитовая	Ультрамафиты дифференцированных интрузий шукавского комплекса				
	Pt-Pd-Au	Еланский (37, 40-42)	Субвулканическая ортопироксенит-норит-диоритовая	Нориты, ортопироксениты еланского комплекса				
	Pt-Pd	Мамонский (27, 29-31, 44-48)	Дунит-перидотит-габброноритовая	Высоко- и умеренномагнезиальные ультрамафиты дифференцированных интрузий мамонского комплекса				
	Pd-Pt	Олимпийский (6, 7)	Коматитит-базальтовая	Коматититы михайловской серии и их интрузивные (субвулканические) тела сергеевского комплекса				
Малосульфидная платинометаллическая	Pt-Pd	Бесединский (3,9)	Перидотит-пироксенит-габбро-анортозитовая	Пироксениты, горнблендиты бесединского комплекса				
		Смординско-новогольский (4, 35, 36)	Тралловая (троктолит-габбродолеритовая)	Горизонты талкитовых габбродолеритов дифференцированных массивов смординского и новогольского комплексов				
		Ольховский (24)	Габбронорит-кварц-монцитит-гранитная	Габбронорит-кварцмонцититы первой фазы ольховского комплекса				
Платиносодержащая хромитовая	Pt-Pd (Ru, Os)	Еланы-язовский (38, 39, 43, 49)	Дунит-перидотит-габброноритовая	Горизонты тонкоритмичного переслаивания пород зон переходов нижней ультрамафитовой и верхней габбронорит-габбровой серий дифференцированных интрузий мамонского комплекса				
		Садовый (26)	Дунит-перидотит-габброноритовая	Горизонты хромитовых гарцбургитов и ортопироксенитов дифференцированных интрузий мамонского комплекса				
Платиносодержащая титаномангнетитовая	Pt-Pd	Смординский (4)	Тралловая (троктолит-габбродолеритовая)	Обогащенные титаномангнетитом (ванадийсодержащим) допирит-пегматиты дифференцированных массивов смординского комплекса				
		Моховской (28)	Дунит-перидотит-габброноритовая	Обогащенные титаномангнетитом роговооблажковые габброиды моховской типа мамонского комплекса				
Платинометаллическая в карбонатах	Pt-Pd	Дубравинский	Щелочно-ультрамафитовая с карбонатами	Рудосынные карбонатиты дубравинского комплекса				
Класс полигенных Группа флюидно-магматогенно-осадочных								
Золото-платиносодержащая полиметаллическая черных сланцев	Pt-Pd-Au	Тимской (10-13) и старооскольский	Углеродистая и высокоуглеродистая вулканогенно-осадочная и осадочная	Обогащенные углеродом и сульфидами горизонты сланцев тимской свиты оскольской серии и среди железистых кварцитов курской серии				
		Кшенский (5, 14, 15, 18)	Углеродистая и высокоуглеродистая вулканогенно-осадочная	Средне-низкотемпературные углеродистые метасоматиты по вулканогенным и вулканогенно-осадочным образованиям оскольской серии				
		Воронцовский	Углеродисто-граувакко-сланцевая (молассидно-флишоидная)	Углеродистые сульфидизированные сланцы и пнейсы воронцовской серии				
		Обоянский (21)	Метабазит-гранулит-пнейсовая, углеродистая	Высокоуглеродистые (графитизированные) пнейсы обоянского структурно-вещественного комплекса				
Платиносодержащая золото-железородная	Pt-Pd-Au	Курский (1, 8, 17)	Железисто-кремнисто-сланцевая	Железистые кварциты курской серии				
Золото-сульфидно-кварцевая	Au	Южнореутецкий	Вулканисты, железисто-кремнистые породы	Кварц-сульфидные золотосодержащие жилы среди кислых и средних вулканитов				
Золото-палладий-содержащая в колчеданных рудах	Au-Pd	Авильский (19)	Вулканогенно-осадочная, углеродистая зеленокаменных поясов	Графитизированные песчаниково-ортосланцевые горизонты александровской свиты михайловской серии				
Класс экзогенных Группа комплексных (Au- U-ЭПГ) проявлений (включая гидротермальные)								
Золото-уран-платиноносных конгломератов	Au-U-МПГ	Стойленский (2, 16, 22)	Карбонатно-метаграуважковая	Металлоносные конгломераты в основании курской серии (янгатеевская и стойленская свита)				
Платино-золото-содержащих олиг омиктовых конгломератов и гравелитов	ЭПГ-Au	Воронежский (23, 32)	Вулканогенно-осадочная	Конгломерат- и гравелитсодержащие отложения зон стратиграфических несогласий, включая горизонты перекрытия («спая») докембрийских и фанерозойских отложений				
Класс техногенных								
Золото-платино-содержащая	Au-Pt-Pd	Курско-белгородский (1, 17)	Хвостотвалы железородных месторождений	Хвостохранилища Михайловского, Стойленского и Лебединского ГОКов КМА				

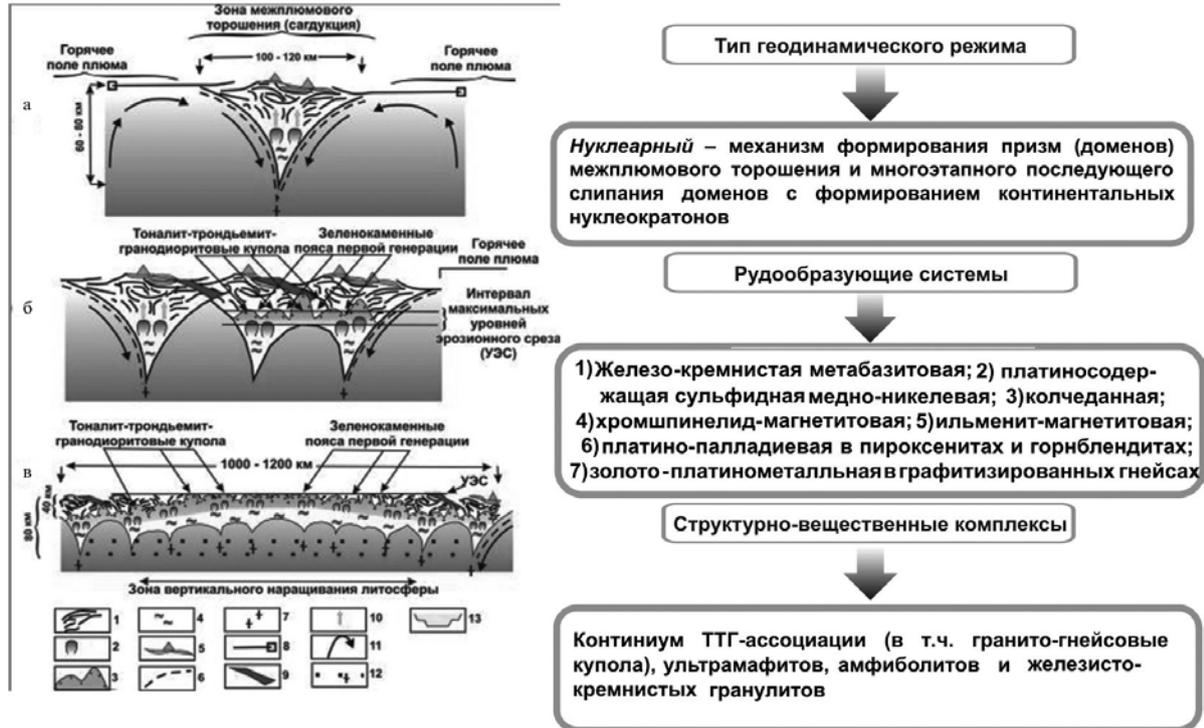


Рис. 4. Геодинамика и минерация раннеархейского этапа (по [30,33]).

Слева – модель возникновения и развития континентальной протокоры и эволюции гранит-зеленокаменных областей: а – стадия формирования межплюмовых протодоменов, б – стадия слияния протодоменов и формирования континентальных доменов, в – стадия изостатического выравнивания протоконтинентов. Условные обозначения к рис. 4 и 5: 1 – коматиит-базитовая кора и ее деформированные фрагменты в зонах торшения; 2–3 – тоналит-трондъемит-гранодиоритовые купола: 2 – ранней генерации (низкокальциевые эндрбиты), 3 – поздних генераций (кальциевые эндрбиты); 4 – “базитовый” континентальный слой реститового происхождения; 5 – известково-щелочные магматические серии зеленокаменных поясов первого типа; 6 – фрагменты базитовой коры, затасщенные на глубину нисходящими ветвями плюмов; 7 – эклогитизированные фрагменты базитовой протокоры; 8 – площадные спрединг-зоны надплюмового пространства; 9 – зоны протосутур; 10 – пути подъема известково-щелочных магматических диапиров; 11 – направление адвективного перемещения вещества в плюмах; 12 – литосферная мантия; 13 – бимодальные магматиты зеленокаменных поясов второго типа.

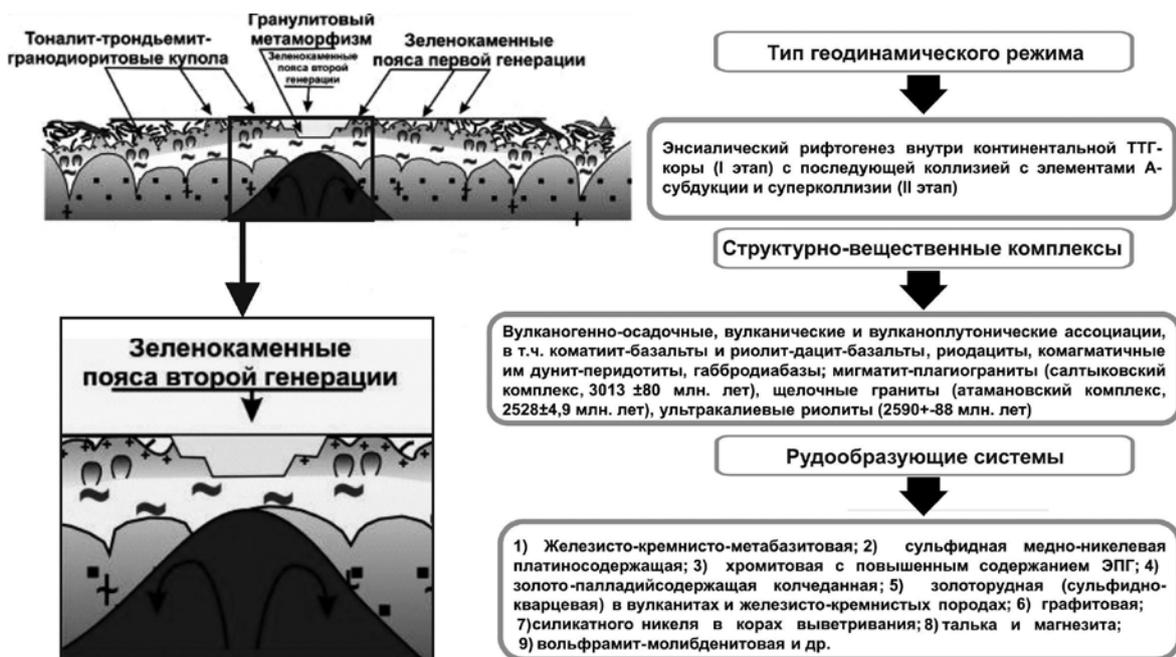
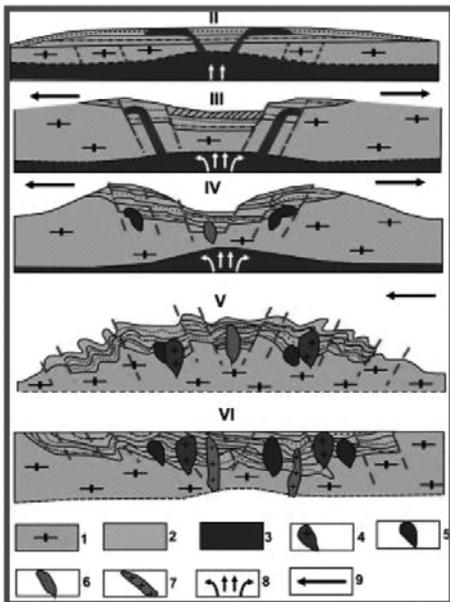


Рис. 5. Геодинамика и минерация позднеархейского этапа (по [33]).

Условные обозначения см. рис. 4.

Структура КМА

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



Тип геодинамического режима	Структурно-вещественные комплексы	Рудообразующие системы
Протоплатформенный	Курская железорудная серия, роговская и белгородская свиты оскольской серии	1) Золото-платино-ураноносная кварцевых конгломератов; 2) золото-платиноносная железисто-кремнисто-сланцевая; 3) платиноидно-золото-рудная; 4) золото-кварц-сульфидная (платиноносная); 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, ограничено - базальтоиды, пикриты; ультрамафит-мафитовые интрузии (золотухинский тип)	1) Золотоносных россыпей; 2) полигенная золото-платиноносная в сланцах; 3) титан-ванадиевая
Коллизионный (V)	Стойло-николаевский габбродиорит-гранитный (2085±5 млн. лет), шебекинский сиенитовый (2066±14 млн. лет), малинский гранитный; андезиты глазуновской свиты	1) Золото-сульфидно-кварцевая (платиносодержащая) и галенит-сфалеритовая; 2) грейзеновая касситерит-силикатная; 3) редкоземельная ураноториевая; 4) полиметаллическая; 5) редкометалльная (в сподуменовых пегматитах); 6) золото-платинометаллическая колчеданная в метасоматитах; 7) золото-платиносодержащая в стратифицированных толщах (глазуновская свита)
Раннеплатформенный (VI)	Трапповая формация (смородиновский комплекс; 2060±10 млн. лет); щелочные субультрамафитовые с карбонатитами (дубравинский комплекс)	1) Платиносодержащая титаномagnetитовая с ванадием; 2) малосульфидная платинометаллическая; 3) сульфидная платиноидно-медно-никелевая; 4) апатит-магнетитовая платиносодержащая в карбонатитах и др.

Рис. 6. Геодинамика и минерагения раннепротерозойского этапа формирования КМА.

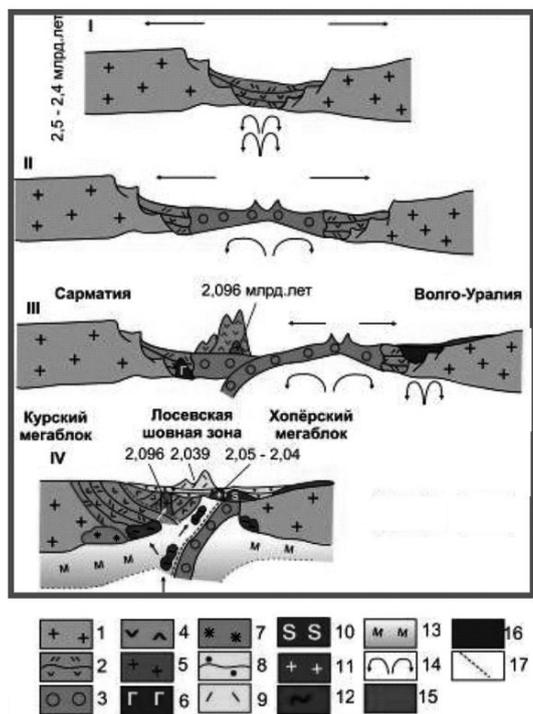
1 – протокора серогнейсового состава, 2 – ассоциация пород стадии рифтогенеза, 3 – подкорový слой верхней мантии, 4 – коллизионные гранитоиды, 5 – базальты повышенной щелочности, 6 – базальтоиды нормальной щелочности, 7 – траппы, 8 – векторы тепломассопереноса, 9 – векторы тектонического напряжения.

ный рифтогенез с рядом стадий, коллизионный и заключительный раннеплатформенный (рис. 6), каждый из которых отличается составом СВК и ассоциирующими с ними свыше 20 разнотипных рудообразующих систем. Среди них особый интерес представляет группа новых, полигенных по своей природе, нетрадиционных источников платино-металлического и золото-платинометаллического оруденения, ассоциирующего с железистыми кварцитами месторождений-гигантов КМА (курский тип) и разновозрастными черносланцевыми толщами (комплексные платиноидно-золоторудные) и их метасоматитами (тимской, старооскольской и кшенский типы; [16, 19, 22, 25, 27, 29, 30, 33, 40]). В наращивании благороднометаллического потенциала КМА важное значение представляет и ряд других мало исследованных рудных формаций: а) золото-платино-ураноносная в конгломератах (стойленский тип); б) платиноидно-золотосодержащая кор выветривания железистых кварцитов и сланцев; в) золото-платиносодержащие россыпи; г) золото-сульфидно-кварцевая (платиносодержащая); д) золото-платиносодержащая в сульфидизированных стратифицированных толщах глазуновской серии [5, 16, 19, 22, 25].

В эволюции литосферы ВКМ особая роль принадлежит Лосевской шовной зоне (ЛШЗ), которая сформировалась в результате коллизии Сарматии и Волго-Уралии. Ее структура и вещественное наполнение свидетельствует о проявлении различных геодинамических обстановок (рис. 7), отвечающих деструкции Сарматии (лосевская серия, стрелицкий тип и рождественский комплекс габброидов), субдукции под ее восточную в современных координатах границу (лосевская серия, подгоренский тип в ассоциации с усманским плагиогранитным комплексом, а также донская серия в ассоциации с павловским комплексом субщелочных гранитов) и коллизии Сарматии и Волго-Уралии (бобровский, лискинский гранитоидные комплексы, воронежская свита в ассоциации с Байгоровской вулканоплутонической структурой – БВПС и ольховским платиносодержащим монзонит-габбронорит-гранитным комплексом [9, 22, 29, 33]).

В секторе Волго-Уралии, участвующей в коллизии, бассейн седиментации (воронцовская серия) формировался на ее пассивной окраине в возрастном интервале 2220–2100 млн. лет с проявлением внутриплитного периконтинентального магматизма на уровне <2100–2060 млн. лет (мамон-

Лосевская шовная зона и Хопёрский мегаблок



Тип геодинамического режима	Структурно-вещественные комплексы	Рудообразующие системы
Деструкция архейского блока Сарматии	Лосевская вулканогенная и вулканогенно-осадочная серия (стрелицкий тип с контрастным вулканизмом)	
Субдукция а) Сектор Сарматии б) Сектор Волгоуралии	а) Непрерывно дифференцированный тип вулканитов (подгоренская толща лосевской серии), плагииграниты усманского и мафиты рождественского комплексов; б) мафит ультрамафитовый мамонский и еланский комплексы в пределах Хоперского блока	(а)1) Палладий-ртуть-золото серебрянная колчеданная благороднометалльносодержащая и графитовая (в воронцовской серии); 2) титаномагнетитовая; 3) малосульфидная платинометалльная; (б) 4) сульфидная платиноидно-медно-никелевая (мамонский тип); 5) платиносодержащая хромитовая; 6) сульфид-сульфоарсенидная кобальт-никелевая (в метасоматитах); 7) сульфидная кобальт-медисто-никелевая (еланский тип); 8) золото-кварц-арсенидная
Коллизия (включая позднюю стадию орогенеза)	Гранитоиды бобровского и лискинского комплексов, вулканогенно-осадочные породы воронезской свиты, Байгоровская вулканоплутоническая структура, габбро-норит-монзонит-гранитовый ольховский комплекс	1) Редкометалльная и олово-молибден-вольфрамовая; 2) золото-сульфидно-кварцевая; 3) урановая и германий-галлиевая; 4) малосульфидная платинометалльная (ольховский тип); 5) сульфидная медно-никелевая; 6) золото-кварцевая; 7) золотосных россыпей
Раннеплатформенный этап	Трапповая троктолит-габбродолеритовая формация (новогольский комплекс), щелочные сиениты артюшковского комплекса	1) Платиносодержащая титан-магнетитовая с ванадием; 2) малосульфидная платинометалльная; 3) сульфидная платиноидно-медно-никелевая; 4) редкоземельно-уран-ториевая

Рис. 7. Геодинамика и минерогения раннепротерозойского этапа Лосевской шовной зоны и Хоперского мегаблока.

1 – континентальная кора, 2 – стрелицкая толща лосевской серии, 3 – океаническая кора, 4 – подгоренская толща лосевской серии, 5 – усманский комплекс, 6 – рождественский комплекс, 7 – павловский комплекс, 8 – воронезская свита, 9 – Байгоровская вулканоплутоническая структура, 10 – шукавский комплекс, 11 – ольховский комплекс, 12 – магматический очаг, 13 – восходящий поток, 15 – воронцовская серия, 16 – мамонский и еланский комплексы, 17 – надвиг.

ский и еланский мафит-ультрамафитовые комплексы), в связи с автономно развивающимся суперплюмом в условиях растяжения по механизму рассеянного спрединга, сопровождавшего процесс субдукции Хоперского и Курского геоблоков [9, 22, 29, 30]. На коллизионном этапе достаточно четко проявлены кульминационная стадия коллизии (~2050 млн. лет), которой отвечают коллизионные гранитоиды бобровского комплекса и ее завершающая стадия (~2040 млн. лет), в объеме воронезской свиты и БВПС. Многообразие геодинамических обстановок (реактивизация позднеархейских рифтогенных структур, сложные процессы субдукции, сопровождаемые рассеянным спредингом, коллизии и завершающего раннеплатформенного этапа с активным внутриплитным режимом) длительного формирования коры континентального типа и ее структурно-вещественной эволюции определили широкий спектр рудных формаций и высокую степень их продуктивности (рис. 7). Среди них: а) сульфидная платиносодержащая медно-

никелевая (мамонский тип); б) сульфидная платиносодержащая кобальт-медисто-никелевая (еланский тип) в ортопироксенит-норит-диоритовых интрузивах еланского комплекса; в) платиносодержащая хромитовая и титаномагнетитовая (садовский и моховской типы, табл. 1); г) малосульфидная платинометалльная (елань-вязовский тип) в составе мамонского ультрамафит-мафитового комплекса; д) колчеданная палладий-ртуть-золото-серебрянная и благороднометалльносодержащая в углеродистых сланцах и гнейсах (воронцовский тип) и др. [5, 14–17, 20–22, 29, 30].

Специфика металлогенического облика СВК раннеплатформенного этапа, состав и закономерности размещения золото-платинометалльного оруденения определяются глубинностью подкоровых выделов магматических расплавов и локализацией ассоциирующих с ними РМС преимущественно в зонах глубинных, нередко реактивизированных разломах и “горячих точках” в условиях прогрессивно стабилизирующейся мегаструктуры

ВКМ как составной части Восточно-Европейской платформы. Среди РМС этого этапа выделяют: а) золото-сульфидно-кварцевая в вулканах глазуновской серии; б) платиносодержащая сульфидная медно-никелевая и в) малосульфидная платинометаллическая в дифференцированных троктолит-габбро-долеритовых (трапповых) интрузивах смородинского и новогольского комплексов (смородинско-новогольский тип); г) платиносодержащая апатит-магнетитовая в карбонатитах дубравинского щелочно-ультрамафитового комплекса КМА [19, 22, 29, 30].

Таким образом, смена геодинамических и эндогенных режимов в процессе длительного ($AR_1-PR_1^2$) формирования докембрийской литосферы ВКМ сопровождалось: 1) изменением типов СВК, составов и формационной принадлежности входящих в них магматических образований; 2) возрастающим разнообразием магматических и метаморфических формаций, увеличением мафитовых породных ассоциаций и роли ассимиляционных процессов, внутрикамерной дифференциации и флюидно-магматического расслоения, типов метаморфических преобразований; 3) возрастанием спектра золото- и золото-платиноносных РС и степени их продуктивности, при общем тренде увеличения в них роли Au и Pd относительно Pt.

Важно особо подчеркнуть пространственное совмещение разновозрастных и разноформационных благороднометаллических рудообразующих систем и многоярусный характер размещения разнотипных месторождений, проявлений и потенциально рудоносных комплексов и, как следствие, появление крупных и уникальных золото-платиносодержащих и платинометаллических рудоносных объектов, определяя, тем самым, их полиэлементный состав и высокий металлогенический потенциал отдельных рудных районов Центральной России.

Полигенность условий формирования и пространственно-временная связь рудной минерализации с различными по составу и формационной принадлежности рудообразующими и рудоконтролирующими структурно-вещественными комплексами, сформировавшимися в геодинамических режимах наиболее интенсивной эндогенной активизации и структурной дифференциации земной коры, не только обуславливают в совокупности многообразие формационно-генетических типов платинометаллического оруденения ВКМ, но и определяют минералого-геохимический облик, масштабы и степень продуктивности рудообразующих систем [19, 22, 25, 31].

При значительном многообразии формационно-генетических типов благороднометаллического оруденения, широко развитого в докембрийском фундаменте региона, с разной степенью разведаны и изучены, по существу, лишь четыре группы платинометаллических и золото-платинометаллических месторож-

дений и проявлений: 1) сульфидные платиноидно-медно-никелевые [5, 6, 14, 15, 17, 20, 22, 29, 30, 37]; 2) комплексные золото-платинометаллические в железистых кварцитах; 3) комплексные в золото- и золото-платиноносных черносланцевых толщах и их метасоматитах [16, 18, 22, 24–30, 32, 35, 36, 40] и 4) платиноидно-золоторудных конгломератов [7, 8, 10, 11, 22 и др.].

Из шести выделенных в докембрийском фундаменте типов сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения, связанных с различными геодинамическими обстановками (рис 3–7, табл. 1), наиболее важными в промышленном отношении являются два: а) мамонский (Нижнемамонское, Подколдновское, Юбилейное месторождения и свыше 30 разномасштабных проявлений), ассоциирующей с дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой (возраст $2100-2080 \pm 14$ млн. лет); б) еланский (Еланское, Елкинское месторождения и около 20 рудопроявлений), генетически связанный с субвулканической ортопироксенит-норит-диоритовой ($2065-2050 \pm 14$ млн. лет) формациями рассеянного спрединга и реактивизированных структур Хоперского мегаблока ВКМ (рис. 3, табл. 1)

Ведущая роль в интрузивных ультрамафитовых дифференциатах мамонской группы месторождений (рис. 8) принадлежит вкрапленным рудам с содержанием Ni до 0.5–0.7 мас. %, Cu = 0.71 мас. %, Co = 0.04 мас. %, ЭПГ = 0.54 г/т, при ограниченном развитии богатых густовкрапленных, массивных и брекчиевидных (Ni = 1.67–5.93 мас. %, Cu – до 4.01 мас. %, Co = 0.08–0.19 мас. %, ЭПГ до 1.5 г/т). В составе месторождений мамонского типа богатые (Ni = 1.25–14.50 мас. %, Cu = 0.44–10.0%, Co = 0.13–2.2%, Au до 0.9 г/т, ЭПГ = 0.6–2.7 г/т) платиноидно-медно-никелевые и никель-кобальтовые руды ассоциируют с широко развитым (до 10–12% объема формации) разновозрастным дайковым комплексом [38, 39]. В целом, руды мамонского типа характеризуются невысокими содержаниями ЭПГ, среди которых на долю Pd, Pt и, отчасти, Rh и Ru приходится до 90–95% от всей суммы платиноидов. Установлено: а) повышенные концентрации ЭПГ в богатых по содержанию Ni, Cu, Co рудах; б) заметное преобладание Pt над Pd ($Pd/Pt < 0.9$) в ликвационных рудах и более чем двух–восьмикратное возрастание Pd (до 2.5 г/т), относительно Pt (до 0.30 г/т) – в инъекционных; в) значительное увеличение концентраций ЭПГ в халькопирит-пентландит-пирротиновых рудах, содержащих обогащенные Pd (0.20–0.25 мас. %) и Pt (0.12–0.15 мас. %) минералы более позднего, пневматолит-гидротермального, по своей природе, арсенид-сульфоарсенидного парагенезиса.

Специфические условия формирования пород и руд из гибридного кремнисто-магнезиального (бонинитоподобного) сульфидоносного расплава, возникшего в результате контаминации ис-

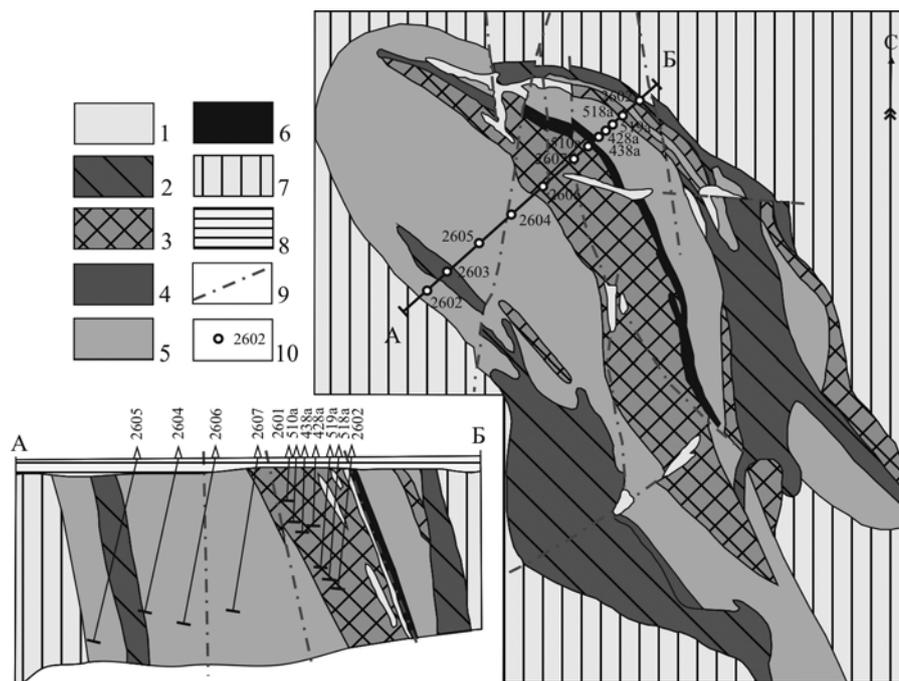


Рис. 8. Схематическая геологическая карта и разрез Нижнеамонского месторождения сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд.

1 – диориты, 2 – габбронориты, 3 – перидотиты и плагиоперидотиты, 4 – оливиновые пироксениты, 5 – серпентиниты (апоперидотитовые), 6 – аподунитовые серпентиниты (рудные) и рудные тела, 7 – вмещающие породы воронцовской серии, 8 – породы осадочного чехла, 9 – тектонические нарушения.

ходных мантийных (коматиитовых) магм коровым материалом, определяют уникальность структурно-вещественных, петролого-геохимических и рудно-формационных граничных признаков крупного по запасам и ресурсам еланского типа (рис. 9) платиноидно-медно-кобальт-никелевых месторождений [5, 6, 15, 17, 19, 20, 22, 29, 37–39]: а) присущий коматиит-ассоциированным сульфидно-никеленосным РМС маломедистый высоконикелистый (с повышенным содержанием кобальта) состав руд с возрастающей концентрацией ЭПГ по мере перехода от вкрапленных ($Ni = 0.87\text{--}1.45$ мас. %, $Cu = 0.11$ мас. %, $Co = 0.04\text{--}0.42$ мас. %, ЭПГ = 0.30 г/т) к более медистым вкрапленно-прожиковым ($Ni = 6.66$ мас. %, $Cu = 0.23$ мас. %, $Pt = 0.68$ г/т, $Pd = 1.3$ г/т) и ограниченно развитым брекчиевидным и массивным ($Ni = 8.01\text{--}14.35$ мас. %, $Cu = 0.28\text{--}1.17$ мас. %, $Co = 0.25\text{--}0.32$ мас. %, ЭПГ от 0.510 до 1.43 г/т, в отдельных случаях, ЭПГ – до 12.5 г/т, Au – до 2.5 г/т); б) ведущая роль в сульфидном парагенезисе палладийсодержащего (Pd – до 300 г/т) пентландита (до 30–50%) и палладий-родийсодержащего пирротина (Pd – до 100 г/т, Rh – до 200 г/т) и крайне низкие содержания халькопирита (2.5%, иногда до 10–15%), постоянное присутствие высокохромистых цинк- и рутенийсодержащих хромшпинелидов, самородного золота, а также в разной мере обогащенных Pt (от 100 до 1100 г/т), Pd (200–3100 г/т), Rh (100–

1900 г/т) и Au (100–2000 г/т) сульфидов при максимальных концентрациях ЭПГ (Pt, Pd, Rh, Ir – до 19.0 кг/т) и Au (до 4.5 кг/т) в палладий-иридий-платиновой разновидности брейтгауптита; в) высокий уровень извлечения ЭПГ (64.3%, в том числе Pd до 94.3%) при содержании в концентрате Pt и Pd = 2.13 г/т, Au = 1.58 г/т, Ag = 24.9 г/т. Установлена отчетливая корреляция Pt и Pd прежде всего с Ni и As (рис. 10).

По предварительным данным общий металлогенический потенциал этих типов месторождений и рудопроявлений составляет: Ni – около 4.0 млн.т, Cu = 1.2 млн.т, Co = около 1000 т, платиноидов – порядка 250 т, Au = 200 т. Кроме того, в пределах ВКМ и Хоперского мегаблока, единичными скважинами, выявлен ряд крупных магматических тел с возрастом 2.06 и 1.8 млрд. лет (смородинский и новогольский комплексы), которые обнаруживают значительную аналогию с Норильским никель-платиновым районом. Предварительно, ресурсы оцениваются: Ni = 4547.9 тыс.т, Cu = 3317.8 тыс.т + Co = 177.7 тыс.т, платиноидов ~ 980 т.

Исключительно широкое развитие в докембрийском фундаменте ВКМ крупных (свыше 200 км²) дифференцированных плутонов ультрамафит-мафитового и мафитового состава в мамонском и новогольском комплексах с горизонтами тонкоритмичного чередования контрастных по составу пород с малосульфидной платинометалльной минера-

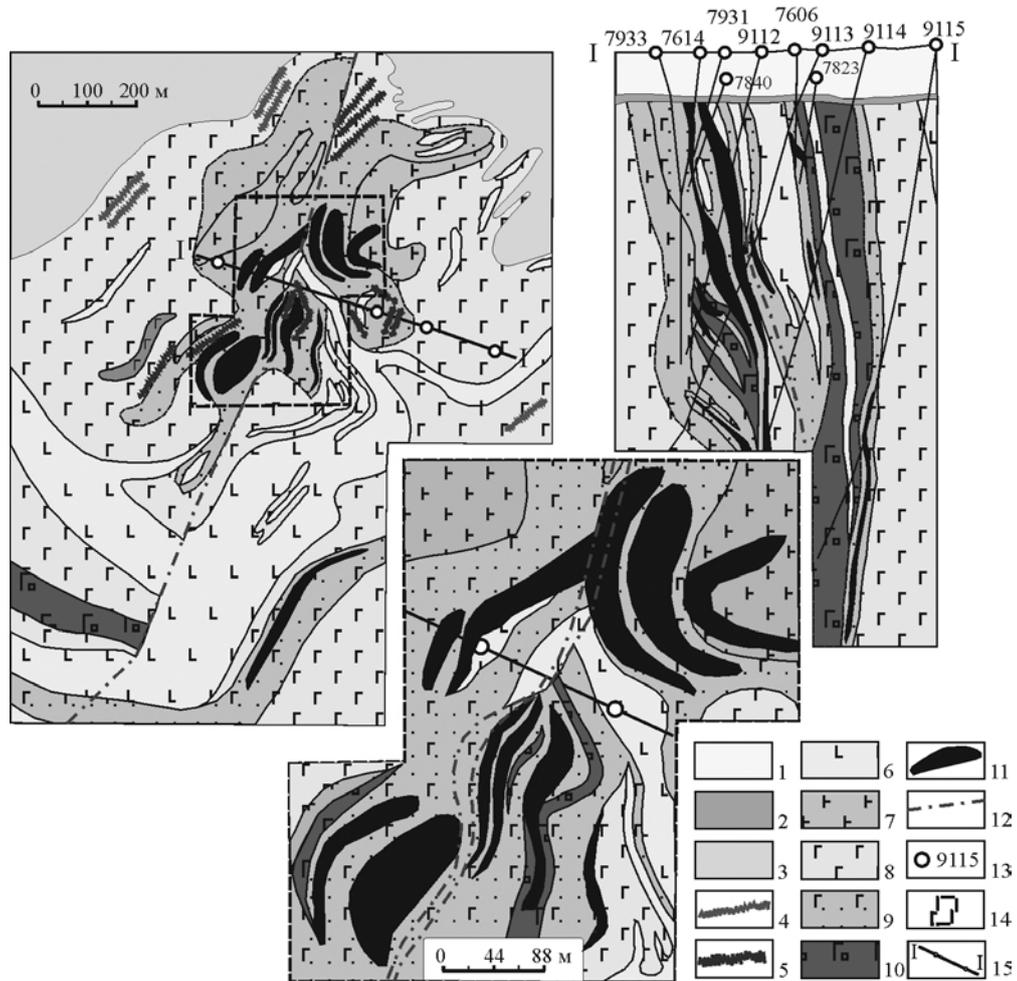


Рис. 9. Схематическая геологическая карта Еланского месторождения.

1 – породы платформенного чехла (на разрезе); 2 – кора выветривания на кристаллическом фундаменте (на разрезе); 3 – песчаниково-сланцевые отложения воронцовской серии; 4 – дайки порфиров, лампрофиров; 5 – диориты второй интрузивной фазы еланского комплекса; 6 – норит-порфиры жильные; 7 – нориты тонкозернистые (“фельзические”); 8–9 – нориты мелко-среднезернистые (8) и порфировидные (9); 10 – габбро-нориты оливиновые и безоливиновые мамонского комплекса; 11 – рудные тела; 12 – тектонические нарушения; 13 – скважины и их номера; 14 – контур врезки; 15 – линия геологического разреза.

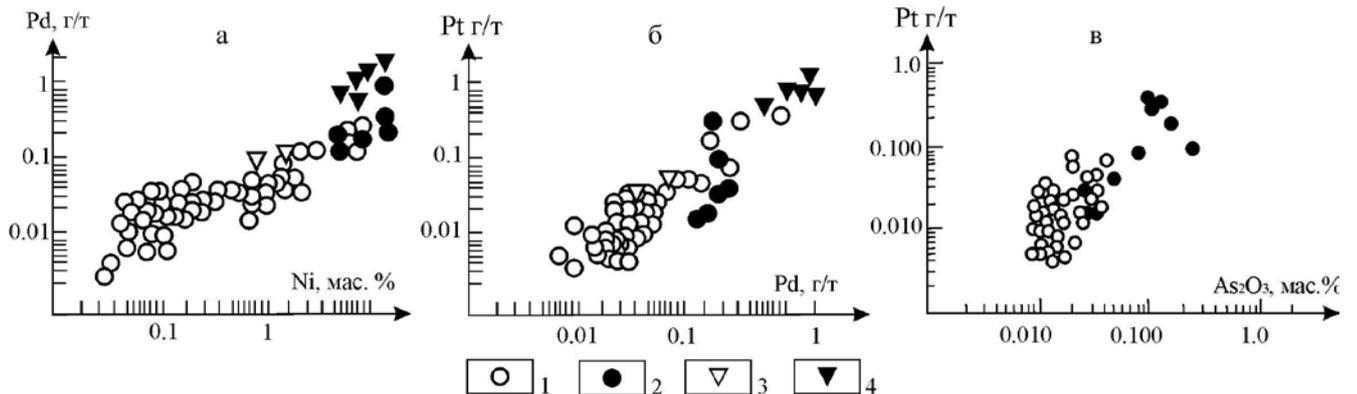


Рис. 10. Бинарные диаграммы зависимости Pt–Ni (а), Pt–Pd (б) и Pt–As₂O₃(в) в рудах Еланского месторождения (по [22, 23, 39]).

1 – вкрапленные руды в норитах, 2 – массивные руды в норитах, 3 – вкрапленные и гнездово-шиповые руды в жильных ортопироксенитах, 4 – вкрапленные и гнездово-прожилково-вкрапленные массивные руды в жильных роговообманковых габбро и их пегматоидных разновидностях.

лизацией определяет вероятность открытия в регионе уникальных по запасам благородных металлов месторождений стиллуотерского и верхнеталнахского типов [16, 22].

В наращивании минерально-сырьевого потенциала благородных металлов особое значение в качестве нового, нетрадиционного источника золотоплатинодобычи XXI столетия приобретают уникальные по ресурсам и глобальные [2, 4, 25] по степени распространения высокоуглеродистые черные сланцы и их метасоматиты. В Центральной России, в пределах ВКМ, золото-платинометалльное оруденение в стратифицированных углеродистых образованиях выявлено в составе всех структурно-вещественных комплексов раннего докембрия. Наиболее высокие концентрации благородных металлов связаны с высокоуглеродистыми терригенно-осадочными и вулканогенно-осадочными породными ассоциациями оскольской серии раннепротерозойских интракратонных складчато-глыбовых структур, пространственно сопряженных с позднеархейскими зеленокаменными поясами (тимский и кшенский типы [18, 22, 25, 26, 29, 30]).

Золото-платинометалльное оруденение в раннепротерозойских стратифицированных черносланцевых структурно-вещественных комплексах, наиболее полно проявившееся в крупной (протяженность 130 км при ширине 30–50 км) Тим-Ястребовской структуре КМА (рис. 11), характеризуется [4–6, 18, 25, 26]: а) локализацией в нижней углеродистой терригенно-осадочной части разреза тимской свиты оскольской серии (тимский тип); б) многоуровневым (5–7 горизонтов, мощностью от первых метров до 25–30 м) размещением, высокими концентрациями Au (до 2.2–3.5 г/т), ЭПГ (до 2.0 г/т), РЗЭ; в) отчетливой корреляционной связью ЭПГ и Au с С, S и рядом петрогенных и малых (Ni, Cu, Co, Cr, Zn, Ti, V, P и др.) элементов, преимущественно базальтоидным типом распределения ЭПГ ($Pd(?) > Pt > Rh > Ru > Ir(?) > Os(?)$); г) высокой степенью концентрирования благородных металлов в наиболее тонкозернистой (<0.06 мм) сульфидно-углеродистой фракции, в которой их концентрации в 5–16 раз превышают содержания в исходных (рудомещающих) породах.

К этой структуре приурочен кшенский тип золото-платиносодержащего оруденения, сосредоточенный в протяженной (более 100 км при ширине 2–8 км) 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. 12). Характерными особенностями кшенского типа оруденения являются [22, 25, 26]: а) 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 арсенопирит-пиритового минеральных парагенезисов при крайне ограниченном проявлении жильного сульфидно(пирит)-кварцевого типа; б) резкое преобладание Au (0.23–6.5 г/т, иногда – до 20.1 г/т) над Pt (0.06–0.68 г/т, в редких случаях – до 18.0 г/т) и Pd (0.05–0.1 г/т, иногда – до 0.4 г/т); в) значительная аналогия по геолого-структурному положению, характеру рудомещающих пород, условиям локализации бескварцевого сульфидно-вкрапленного типа оруденения с рядом известных крупных месторождений (Калгурли в Австралии, Гейта в Танзании, Вендерер в Южной Родезии [22, 25]).

Золото-платинометалльное оруденение тимского и кшенского типов характеризуется сложным многокомпонентным, полиминеральным составом (свыше 60 рудных минералов, в том числе более 20 собственных минеральных фаз ЭПГ и Au; табл. 2) и многообразием форм распределения благородных металлов в виде [22, 25, 26]: а) самородных элементов (золото, палладий, платина, осмий, серебро); б) металлических твердых 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) сульфидов, арсенидов, теллуридов, антимонидов, селенидов и сульфосолей ЭПГ, Au и Ag – сперилит, ирарсит, гессит, селенид палладия и платины (неназванный минерал), тестибиопалладинит, антимонид палладия и золота (неназванный минерал) и др.; г) примесей в основных платино-палладий-золотосодержащих рудобразующих сульфидах (мас. %): в 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, сульфосолидах, сульфоантимонидах и теллуридах: в 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), теллурувисмутите (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), алабандините (Pd – до 0.13, Pt – до 0.10, Au – до 0.10), герсдорфите (Pt – до 0.22, Au – до 0.31, Pd – до 0.02), кобальтине (Pd – до 0.03), которые в совокупности с нахождением благородных металлов в углеродистом веществе (в том числе и в фуллеренах) определяют необходимость разработки принципиально новых экологически безопасных технологий извлечения всего комплекса металлов [24–26].

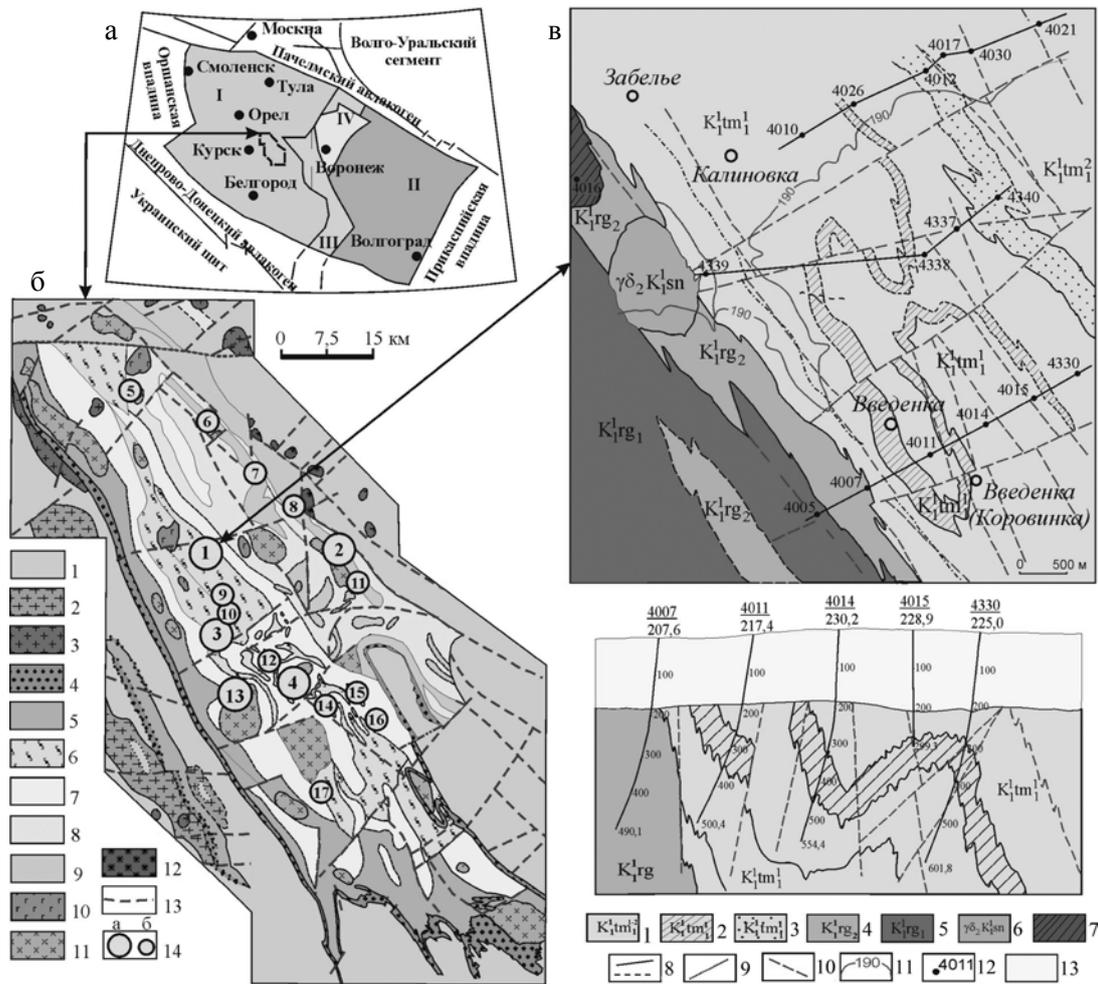


Рис. 11. Схематическая геологическая карта Тим-Ястребовской золото-платиноносной структуры ВКМ (б), ее местоположение на ВКМ (а) и геологическая схема Луневско-Введенского участка центральной части Тим-Ястребовской структуры с разрезом (в).

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

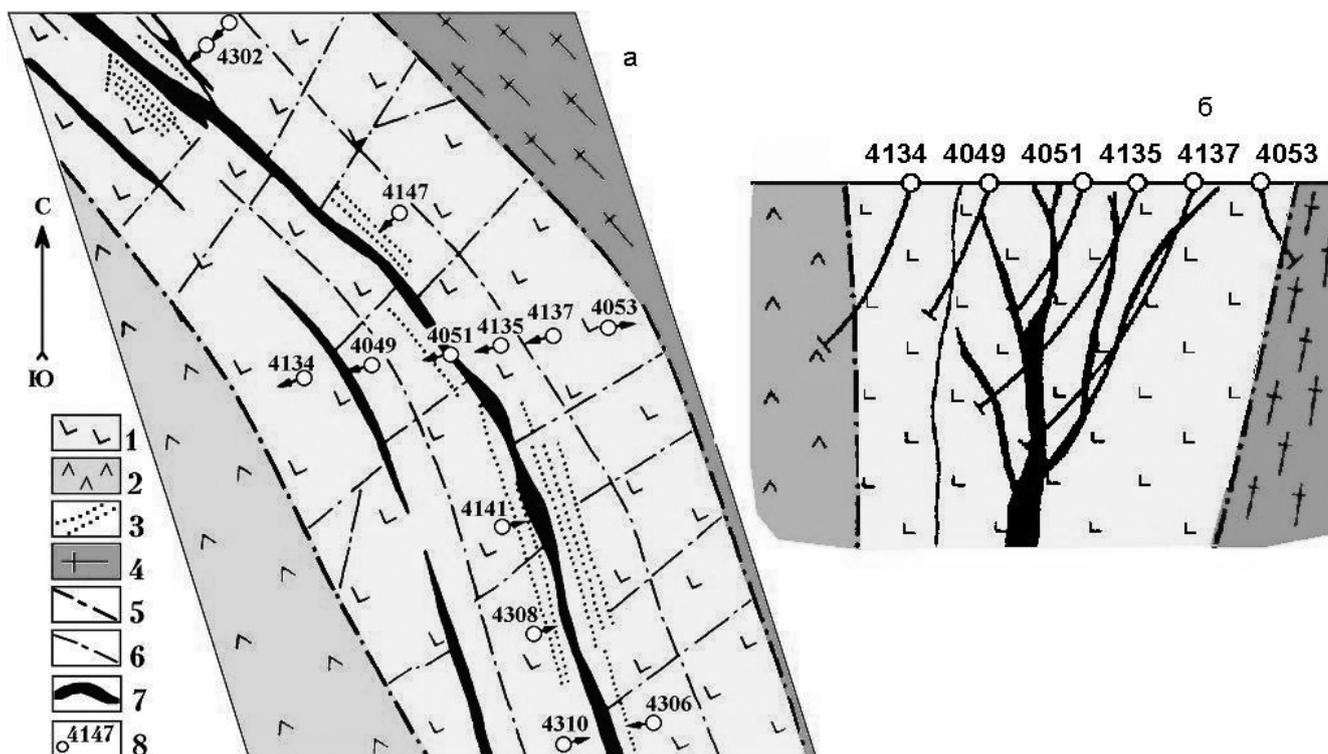


Рис. 12. Схематическое геологическое строение и разрез Кшенского рудопроявления.

1–2 – оскольская серия, верхняя подсвита тимской свиты: 1 – верхняя толща, 2 – нижняя толща; 3 – дайки разного состава и формационной принадлежности; 4 – мигматиты, анатектит-граниты; 5–6 – разрывные нарушения: 5 – главные, 6 – второстепенные; 7 – золото-платиносодержащие рудные тела; 8 – скважины и их номера.

Выполнена оценка ресурсов (категории P_1 - P_2 - P_3) в пределах развития черносланцевых толщ и метасоматитов (тимской и кшенский типы) Тим-Ястребовской структуры ($Au = 1754$ т, ЭПГ = 763 т, сумма Au и ЭПГ = 2517 т) и стратиформного черносланцевого старооскольского типа в пределах контура Михайловского железорудного узла (по категории $P_2 + P_3$; $Au = 520$ т, $Pt = 275$ т, $Pd = 561.6$ т; сумма Au и ЭПГ составляет 1356.6 т).

Новым, нетрадиционным и одним из крупнейших по источникам ЭПГ и Au являются уникальные по запасам железные руды (курский тип) и промпродукты (курско-белгородский тип) горнорудных предприятий КМА. В мегаблоке КМА сосредоточен ряд супергигантских (Михайловское, Лебединское) и гигантских (Коробковское, Стойленское, Стойло-Лебединское) месторождений (рис. 13–15), связанных с железисто-кремнисто-сланцевой формацией нижнего карелия (в объеме курской серии). Две трети разведанных запасов железистых руд России сосредоточено в этих пяти месторождениях [1, 5, 6, 12, 22, 27, 30, 32, 35, 36, 40].

Важнейшим компонентом железистых кварцитов, а также сформировавшихся за их счет залежей богатых железных руд доверхневизейской коры выветривания являются благородные металлы, выступающие в качестве одного из крупнейших нетрадиционных источников селективной и попут-

ной золото-платинодобычи XXI столетия [5, 6, 12, 22, 27, 29, 35, 36, 40]. Среди разнообразных по составу железных руд выделено [27] пять генетических типов золото-платинометалльного оруденения (табл. 3), каждый из которых характеризуется специфическими условиями локализации, морфологией и масштабами рудных залежей, типом минерализации, содержанием благородных металлов и практической значимостью.

Помимо в разной мере обогащенных Au и ЭПГ железистых кварцитов и их метасоматитов значительные ресурсы сосредоточены, прежде всего, в стратиформном типе (табл. 1) – в зоне контакта углеродсодержащих сланцев с кварцитами Михайловского рудного района (рис. 13) и в межрудных сланцах железорудных месторождений Старооскольского района (рис. 15; табл. 4).

Золото-платинометалльное оруденение железорудных месторождений, подобно рудам черносланцевого типа КМА, характеризуется сложным полиминеральным (более 60 минералов) и многокомпонентным составом [22, 27, 29, 32, 35, 36]. Определяющими особенностями благороднометалльного оруденения являются (табл. 5): а) многообразие форм концентрирования и широкое развитие (около 30) собственных минеральных фаз ЭПГ, Au и сопутствующих им элементов (Ag , Te , Bi) в виде самородных металлов (Au , Os , Ru , Ir , Bi), металли-

Таблица 2. Минералы золото-платинометалльного оруденения черносланцевого типа ВКМ10.5

Самородные металлы	
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	$Au_{0.53}Ag_{0.29}Te_{0.07}Hg_{0.02}$
Амальга золота-серебра	$Au_{6.95}Ag_{6.07}Hg_{3.14}$
Аркверит	(Ag,Hg,Pt)
Станнид палладия (незванный минерал)	$PdSn_2$
Платина-палладий-золото-серебро-олово	(Pt,Pd,Au,Ag,Sn,Zn)
Сульфиды	
Пирит	FeS_2
Ni-Cu-пирит	$(Fe,Cu,Ni)_2S_2$
Ni-Co-пирит	$(Fe,Ni,Co)_2S_2$
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	$(CuFe)_2S_2$
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	$(Ni_{0.87}Co_{0.07}Fe_{0.07}Cu_{0.01})_{1.02}Sb_{1.01}S_{0.97}$
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 (незванный минерал)	$(Pd_{2.39}Pt_{0.53}Fe_{0.06})_{2.98}Se_{2.02}$
Тетраэдрит	$Cu_{12}Sb_4S_{13}$
Теллурантимонид палладия (тестибиопалладинит (?))	$(Pd_{0.88}Fe_{0.10}Ni_{0.08})_{1.06}(Te_{1.01}Sb_{0.89}Bi_{0.04})_{1.94}$
Оксиды, вольфраматы, молибдаты, фосфаты и др.	
Ильменит	$FeTiO_3$
Магнетит	Fe_3O_4
Рутил	TiO_2
Касситерит	SnO_2
Шеелит	$Ca(W,Mo)_4O_4$
Перовскит	$(Ca,Ba,Sr)TiO_3$
Титанат бария	$(Ba,Ca)(Ti,Zr)O_4$
Титанат бария и висмута	$(Ba,Bi)_{1-x}(Ti,Nb)O_3$
Бадделит	$(Zr,Hf,Sc)O_2$
Циркон	$Zr[SO_4]$
Барит	$Ba[SO_4]$
Монацит	$(Ce,La,Nd,Th,Y,Gd,Sm)PO_4$
Апатит	$Ca_5[PO_4]_3(F,Cl)$

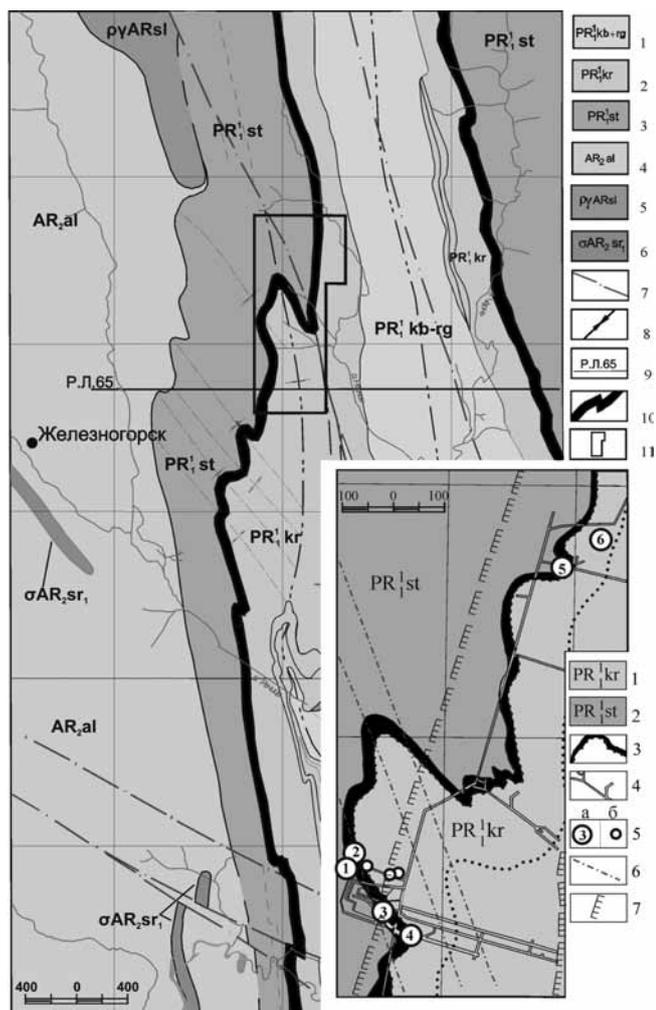


Рис. 13. Положение золото-платиноносной зоны стратиформного типа Михайловского рудного узла.

1 – курбакинская и роговская свиты (PR_1^{kr}); 2 – коробковская свита (PR_1^{st}); 3 – стойленская свита (PR_1^{st}); 4 – верхний архей, александровская свита (AR_2al); 5–6 – магматические комплексы: 5 – салтыковский ($pyARsl$), 6 – сергиевский (σAR_2sr); 7 – разрывные нарушения; 8 – оси складчатых структур; 9 – линия разреза; 10 – рудовмещающая зона стратиформного типа; 11 – 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 карбонатно-магнетитовых кварцитов; 4 – подземные горные выработки; 5 – 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; 6 – разрывные нарушения; 7 – контуры карьера.

ческих твердых растворов и интерметаллических соединений (рутениридосмин, платрутеносмиридий, иридрутеносмид, электрум, кюстеллит, спла-

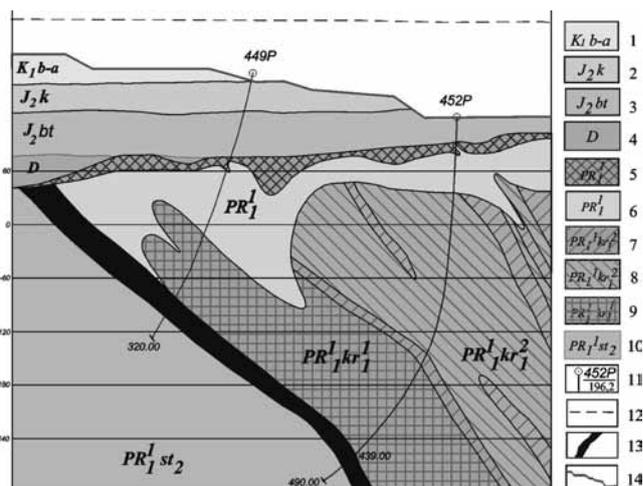


Рис. 14. Положение золото-платиноносной рудовмещающей зоны стратиформного типа в разрезе P-65 Михайловского месторождения.

1 – нижнемеловые отложения; 2–3 – среднеюрские отложения: 2 – келловейский ярус, 3 – батский ярус; 4 – девонские отложения; 5–10 – нижний протерозой: 5 – богатые железные руды, 6 – окисленные железистые кварциты; 7–9 – нижняя железорудная подсвита коробковской свиты, вторая пачка: 7 – гематит-магнетитовые кварциты, 8 – магнетит-гематитовые кварциты; первая пачка: 9 – карбонатно-магнетитовые кварциты; 10 – верхнестойленская подсвита; 11 – скважины и их номера; 12 – дневная поверхность; 13 – рудовмещающая зона стратиформного типа золото-платинометалльного оруденения; 14 – контур карьера.

вы Pd-Ag-Cu, Bi-Te-Pd, Au-Cu-Ag, минералы ряда Ru, Ir, Os, Pt, Pd), сульфидов (прассоит, маккинстриит), сульфоарсенидов, теллуридов, висмутидов (мончеит, сперрилит, петцит, гессит, креннерит, цуманит, сильванит, вольтинскит, мутманнит, мальдонит и др.); б) ведущая (85–90 об. %) роль в рудном парагенезисе сульфидов и их аналогов при резком преобладании среди них обогащенного Au и отчасти ЭПГ пирита и пирротина [24].

Отрабатываемые карьерами и шахтами благороднометаллоносодержащие железные руды пяти месторождений (Михайловское, Лебединское, Стойленское, Стойло-Лебединское, Коробковское) перерабатываются тремя ГОКаами с формированием в процессе обогащения огромной массы хвостотвалов.

Вместе с тем, промпродукты действующих горнорудных предприятий КМА, добывающих и перерабатывающих около 50% железных руд России, выступают в качестве нового, нетрадиционного и одного из крупнейших по ресурсам золота и платиноидов источника, выделяемого в особый курско-белгородский техногенный тип месторождений благороднометаллоносного сырья XXI века [3, 5, 12, 22, 23, 28, 29, 40].

Результаты исследований по распределению благородных металлов в пробах concentra-

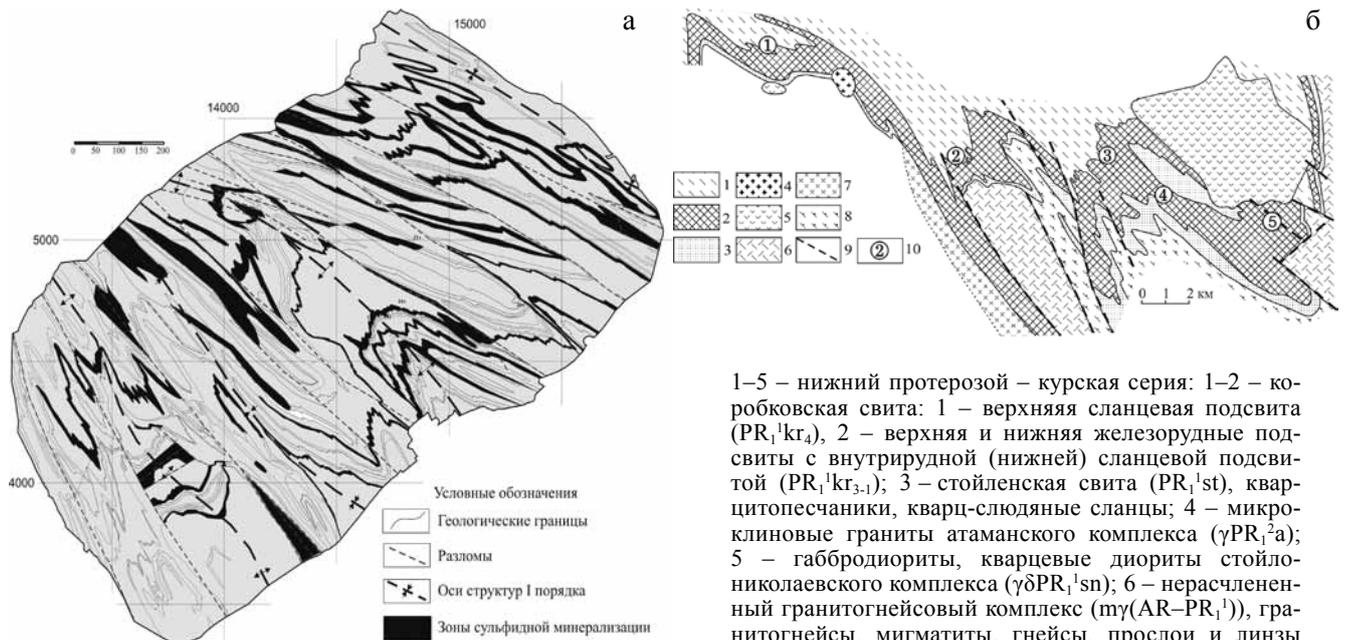


Рис. 15. Карта зон золото-платиносодержащей сульфидной минерализации на Лебединском месторождении (а) и схематическая геологическая карта Старооскольского железорудного узла (б).

1–5 – нижний протерозой – курская серия: 1–2 – коробковская свита: 1 – верхняя сланцевая подсвита (PR₁¹kg₄), 2 – верхняя и нижняя железорудные подсвиты с внутрирудной (нижней) сланцевой подсвитой (PR₁¹kg_{3,1}); 3 – стойленская свита (PR₁¹st), кварцитопесчаники, кварц-сланцевые сланцы; 4 – микроклиновые граниты атаманского комплекса (γPR₁²a); 5 – габбродиориты, кварцевые диориты стойлониколаевского комплекса (γδPR₁¹sn); 6 – нерасчлененный гранитогнейсовый комплекс (mγ(Ar-PR₁¹)), гранитогнейсы, мигматиты, гнейсы, прослои и линзы амфиболитов; 7–8 – верхний архей: 7–плагииграниты салтыковского комплекса (γAR₂sl), 8 – михайловская серия (AR₂mh); 9 – разломы; 10 – месторождения: 1 – Панковское, 2 – Коробковское, 3 – Лебединское, 4 – Стойло-Лебединское, 5 – Стойленское.

Таблица 3. Генетические типы и закономерности размещения золото-платинометалльного оруденения железорудных месторождений-гигантов КМА

Структурно-вещественный контроль оруденения	Содержание Au, Pt, Pd (г/т).	Тип минерализации	Морфология рудных залежей	Возможное практическое применение
1. Осадочно-метаморфогенный				
Обширные площади развития железистых кварцитов в пределах месторождений	низкие (фоновые) Au = 0.02–0.12 ЭПГ – до 0.05	рассеянный	пластовые залежи железистых кварцитов	попутное извлечение из продуктов переработки железных руд
2. Метаморфогенно-метасоматический				
Зоны контакта углеродистых сланцев с кварцитами и внутрирудные углеродсодержащие сланцы с обильной сульфидной минерализацией	Au = 0.54–6.18 Pt = 0.12–0.30 Pd = 0.58–0.77	концентрированный	стратиформные залежи мощностью от первых метров до 90 м и протяжённостью до 70 км.	самостоятельные золото-платиноидные объекты для селективной отработки
3. Гидротермально-метасоматический				
Серия прерывистых линейных зон гидротермально-метасоматических образований с локальными зонами метасоматитов	Au = 0.6–6.2 – иногда до 35.8 ЭПГ – до 0.3–0.5	концентрированный	жилы, линзо- и жилообразные тела мощностью до 3–5 м и протяжённостью первые сотни метров среди железистых кварцитов	самостоятельные, преимущественно золото-рудные объекты для селективной отработки
4. Гипергенно-метасоматический				
Зоны развития линейных кор выветривания железистых кварцитов (богатые маритовые руды)	Au = 0.64–4.30, иногда – до 41.7 ЭПГ = 0.10	концентрированный	разнообразные по масштабам линзо- и жилообразные секущие тела в “карманах” кор выветривания	самостоятельные платиносодержащие золото-рудные объекты для селективной отработки
5. Осадочный				
Базальные горизонты зон несогласий (докембрий-фанерозой), перекрывающие богатые маритовые руды	Au = 0.53 Pt = 0.15 Pd = 1.70 PЗЭ = 556.3 U = 12.2–23.6	концентрированный	пластовые тела сульфидизированных органогенных пород девона (“фосфоритовая плита” мощностью от 1 и более метров) в кровле железорудных месторождений	самостоятельные уран-редкоземельно-благороднометалльно-содержащие объекты во вскрышных породах (селективная отработка)

тов, хвостов и продуктах циклов измельчения железных руд на Михайловском и Лебединском ГОКах, обогащенных с использованием concentra-

тора "Knelson 3.5", показывают, что максимальным концентрированием платиноидов и золота характеризуется гравитационный концентрат из пе-

Таблица 4. Содержания ЭПГ и золота в различных типах сланцев Стойленского месторождения КМА

Номер пробы	Содержания благородных металлов в г/т				
	Ir	Rh	Pt	Pd	Au
	Сланцы амфибол-кварц-слюдистые интенсивно сульфидизированные				
СТ-18	0.0100	0.0100	0.0150	0.0250	1.5000
СТ-18/5	<0.0002	<0.0002	<0.0003	0.1294	0.3498
СТ-150	0.0002	<0.0002	0.0500	0.0200	0.3000
	Сланцы слюдисто-кварцевые сульфидизированные				
СТ-8	0.0118	0.0373	0.0500	0.0800	0.1100
СТ-9-1	<0.0002	<0.0002	<0.0003	0.0740	0.1481
СТ-9-2	<0.0002	<0.0002	<0.0003	0.1200	0.0500
СТ-16	<0.0002	<0.0002	0.0206	0.3587	0.3318
СТ-16 M1	<0.0002	<0.0002	<0.0003	0.0573	0.1371
СТ-17M	0.0017	0.0047	0.0003	0.0110	0.0270
СТ-60 M	<0.0002	0.0117	0.0074	0.0487	0.1070

Примечание: Анализы выполнены в лаборатории анализа минерального вещества ИГЕМ РАН, аналитики Л.Ф. Карташова, В.А. Сычкова. Жирным шрифтом выделены повышенные концентрации благородных металлов.

Таблица 5. Рудные минералы золото-платинометалльного оруденения в железорудных месторождениях КМА

Самородные металлы, металлические твердые растворы и интерметаллические соединения	
Золото самородное и палладий-серебромедьсодержащее	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}
Рутений, иридий, осмий, платина -	Минералы ряда: 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}
Прассоит	Сульфиды (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 ₅ FeS ₄
Халькозин	Cu ₂ S
Ковеллин	Cu ₂ S·CuS ₂
Пенталандит	(Fe,Ni) ₉ S ₈

Таблица 5. Продолжение

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. $(Au_{0.72}Ag_{0.32})_{1.04}Te_2$
Волинскит			$(Ag_{1.03}Bi_{1.01})_{2.04}Te_2$
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, гидроксиды 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	$Zr[SO_4]$

Примечание. Жирным шрифтом выделены минералы благородных металлов.

сков гидроциклона ($Ru = 0.02$ г/т, $Rh = 0.08$ г/т, $Pd = 0.52$ г/т, $Os = 0.05$ г/т, $Ir = 0.1$ г/т, $Pt = 0.7$ г/т, $Au = 25.2\text{--}43.5$ г/т) и немагнитная фракция гравитационного концентрата ($Pd = 0.4$ г/т, $Pt = 0.2$ г/т, $Au = 15.0$ г/т, $Ag = 9$ г/т). Особенно эффективно пески гидроциклонов обогащаются золотом. Его содержание в черновом концентрате из песков гидроциклона на Михайловском и Лебединском ГОКах составило 43.5 г/т и 69.3 г/т при извлечении соответственно 46.3% и 58.4% и высокой степени концентрирования (табл. 6).

При годовом сбросе действующими ГОКами около 50 млн. т, за более чем 40 лет накопилось свыше 1.3 млрд. т твердой массы. При ежегодном поступлении в хвосты обогащения Лебединского и Михайловского ГОКов около 5 т извлекаемого золота и около 3 т платиноидов на базе хвостохранилищ за последние 40 лет создано два крупных техногенных объекта золото-платинодобычи с суммарным содержанием благородных металлов свыше 200 т [12, 22, 23, 28, 40].

В перспективной оценке золото-платинометалльного потенциала докембрийского фундамента

Центральной России важная роль принадлежит металлоносным конгломератам, с которыми в пределах других докембрийских структур Земли (Ю. Африка, Канада, Бразилия и др.) связаны уникальные месторождения золота, урана, ЭПГ. В их числе широко известные комплексные по составу руд ($Au, U, ЭПГ$) конгломераты месторождения Витватерсранд (ЮАР), сформировавшиеся на рубеже 3.06–2.71 млрд. лет [7]. С этим месторождением, давшим с 1886 г. свыше 45 тыс. т золота, связана значительная доля добычи урана, а также осмия и иридия (свыше 200 кг ежегодно), концентрация которых находится в прямой зависимости от содержания Au – главного компонента руд. Совместно с рутением и, в меньшей мере, другими ЭПГ осмий и иридий образуют свыше 25 собственных минеральных фаз [42].

В докембрийском фундаменте ВКМ благороднометалльное оруденение в конгломератах представлено группой комплексных ($Au-U$ -ЭПГ и ЭПГ- Au) проявлений, ассоциирующих с различными по возрасту и составу конгломератами [16, 19] и отличающихся, вместе с тем, различной геодинамической обстановкой формирования и степенью продуктивности.

Таблица 6. Содержания благородных металлов в рудах и технологических продуктах Михайловского и Лебединского месторождений

Место-рожде-ние	Типы руд и технологические продукты	Содержания, мг/т							
		Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt	Au	Ag, г/т
Михай-ловское	аглоруда	<5	<20	25	<10	<5	30	60	<2
	Убого минерализованные окисленные кварциты			<20			<50	50	<2
				<20			<50	120	<2
				<20			<50	50	<2
	гравитационный концентрат из убого минерализованных окисленных кварцитов			80			120	7300	
				80			110	9700	
	гравитационный концентрат из песков классификатора			520	50	100	700	30000	
			20	80			200	25200	
				330			200	43500	
	гравитационный концентрат из отвальных хвостов обогащения	отвальные хвосты обогащения			<20		<50	500	
мономинеральная фракция пирита				22		15	42	<2	
магнетитовый концентрат				20		15	3500	6	
магнетитовый концентрат				<20		<10	22	<2	
Лебедин-ское	отвальные хвосты обогащения			29		19	75	2	
	гравитационный концентрат из хвостов обогащения			38		25	76100	12	
	магнитная фракция гравитационного концентрата			20		15	90	<2	
	немагнитная фракция гравитационного концентрата			400		200	15000	9	

Наиболее значимым является комплексное благороднометалльное оруденение стойленского формационно-генетического типа, которое связано с конгломератами, залегающими в основании курской серии. Источником их формирования являлись докурские (2610 ± 100 млн. лет; [5, 8, 10, 16 и др.]) химически зрелые коры выветривания пород нижнего и верхнего архея, включая плагиограниты салтыковского комплекса с возрастом $3020-2980 \pm 45$ млн. лет (Коробковский, Тимской, Игнатъевский, Яковлевский, Висловский участки) и амфиболиты михайловской серии (Лебединский, Чернянский, Долгополянский участки [8, 11, 16, 22]).

Конгломераты с реликтами подстилающих кор выветривания дислоцированы совместно с исходными материнскими и перекрывающими породами и имеют согласное со складчатым строением курской серии залегание (рис. 16). Общая протяженность выходов металлоносных конгломератов на поверхность докембрийского фундамента по бортам грабенсинклинальных зон КМА составляет около 2 тыс. км [10, 11].

Металлоносными являются обычно только кварцевые конгломераты, выделенные в особую кварцито-конгломератовую формацию [8], обобщенная схема строения которой приведена на рис. 17.

Состав галек на 95–100% кварцевый [8, 10, 11], цемент также кварцевый или слюдисто-кварцевый, в разной мере (от 2–5 до 15–17%) обогащенный сульфидами (пирит, пирротин ± халькопирит, сфалерит, галенит и др.). Мощность металлоносных пластов конгломератов в толще кварцитов и метавраделитов в основании стойленской свиты курской серии в пределах Старооскольского рудно-

го района от десятков сантиметров до 3–6 м, иногда достигает 37 м, а в Новоялтинском районе, где встречается несколько пластов олигомиктовых конгломератов, – до 600 м [10, 11].

Значительное увеличение мощности пород конгломерато-кварцевой формации характерно для структурных зон, пространственно сопряженных с позднеархейскими коматитсодержащими зеленокаменными поясами – Белгородско-Михайловским, Крупецким, Орловско-Тимским (Алексеевско-Воронецким [22]).

В Старооскольском рудном районе грубообломочные метаморфизованные образования (конгломераты и гравелиты) прослежены по простиранию более чем на 40 км. Приурочены они, как и в пределах Новоялтинского региона, к основанию стойленской свиты курской серии нижнего карелия, залегающей со структурным и стратиграфическим несогласием на породах нижнего и верхнего архея (рис. 18).

Терригенные образования стойленской свиты представлены умеренно метаморфизованными (в амфиболитовой фации) породами – от грубообломочных (конгломераты, гравелиты) до мелко- и тонкозернистых (метапесчаники, кварциты, сланцы). Конгломераты почти повсеместно сложены галькой кварца с большой степенью окатанности. Состав цемента – кварц, серицит, фуксит, хлорит, пирит, пирротин, реже, – биотит, роговая обманка, карбонаты, микроклин, плагиоклаз. Акцессорные минералы в цементе представлены цирконом, лейкоксеном, ильменитом, рутилом, монацитом, ставролитом, кианитом, турмалином, апатитом, сфеном, магнетитом, гранатом, урановой слюдкой, халькопиритом, анатазом, марказитом, арсенипиритом, сфалеритом, галенитом [10, 11]. Сульфиды (пирит

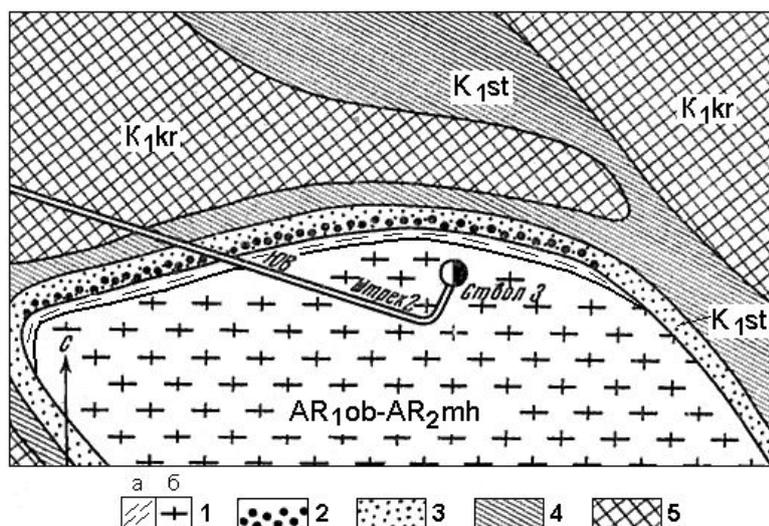


Рис. 18. Терригенно-осадочные образования конгломерато-кварцитово-формации (в объеме стойленской свиты курской серии) в контакте с гнейсами нижнего архея (шахта им. Губкина – горизонт – 124; по [11]) в пределах Южно-Коробковского участка Старооскольского района.

1 – архей: кварцитосланцы (а); гнейсы, гранитогнейсы, амфиболиты (б); 2–5 – нижний карелий: 2–4 – стойленская свита: 2 – конгломераты, 3 – метапесчаники и сливные кварциты; 4 – сланцы; 5 – железистые кварциты коробковской свиты.

Таблица 7. Рудопроявления и пункты благороднометалльной минерализации, ассоциирующей с конгломератами стойленской свиты курской серии Старооскольского рудного района КМА

№ п/п	№№ скважин, интервал опробования (м)	Содержание ведущих элементов, в г/т	Название и краткая характеристика проявления
1	6192 (184.2–185.4)	Au – 4.75 г/т	Южно-Коробковское рудопроявление золота, кобальта, серебра
2	Ствол шахты №4 (валовая проба). 17-А; 6068, 6069	Au – 0.25 г/т Au – 0.1–1.3 г/т Геохимическая аномалия: Au – 0.1–1.0 г/т. As – 0.01–0.10 г/т	Золотоносные конгломераты с существенно-кварцевым составом гальки и сульфидно-сланцево-кварцевым цементом, обогащенным цирконом и рутилом
3	304-А (238–238.25) 310-А 6192 35-А (529.85–530.4) 2-А	Au – 0.45 г/т Au – до 0.3 г/т Au – до 0.3 г/т Au – 0.3 г/т Au – 0.1 г/т	Юго-Восточно-Лебединское рудопроявление: а) зона стратиграфического контакта порфиридов лебединской свиты и сульфидизированных золотоносных метаконгломератов стойленской свиты; б) сульфидизированные метаконгломераты стойленской свиты
4	14-А (407.55–408.25)	Au – 1 г/т	Западно-Стойленское рудопроявление в пиритизированных метапесчаниках и метагравелитах
5	10-А (202.0–213.4)	Au – до 1 г/т	Южно-Лебединское рудопроявление в метаконгломератах с вкрапленностью сульфидов
6	309-А (645.3–691.3)	Au – 0.1–0.4 г/т. до 3 г/т (по мощности 1 м). ЭПГ – до 0.03 г/т	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

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

ных в 1970–1990 гг. в пределах Центральной части Старооскольского железорудного района, выявлено значительное количество разномасштабных рудопроявлений и пунктов благороднометалльной минерализации в пространственно сближенных слоях конгломератов мощностью 1.0–17.5 м (табл. 7) с повышенным содержанием Au (от 0.1 до 3.0–4.75 г/т) и сопутствующих ему Pd (20 мг/т) и Pt (до 10 мг/т).

На юго-восточном замыкании Алексеевско-Воронежской металлогенической зоны [22] установле-

ны золотоносные кварцитопесчаники конгломератокварцитово-формации. В метагравелитах и кварцитопесчаниках, брекчированных амфиболитах Михайловской серии верхнего архея золото в небольшом количестве (до 0.07 г/т) отмечается в нижней части разреза, а вблизи контакта с перекрывающими железистыми кварцитами его содержание (по данным химико-спектрального анализа лаборатории ЦНИГРИ) составляет от 0.03 до 0.3 г/т. Здесь же выявлен пласт (0.8 м) с содержанием Au = 1.5 г/т,

ниже которого отмечается мощный (свыше 100 м) аномальный ореол золота (до 0.2 г/т).

Выполненные в последние годы исследования по оценке платиноносности докембрийских образований ВКМ [22, 30, 33] позволили выявить в золотоносной конгломератокварцитовой формации повышенные концентрации ЭПГ. В частности, по данным анализов двух проб конгломератов, отобранных на Южно-Коробковском месторождении (шахта им. Губкина), помимо Au, установлены Pt (до 0.1 г/т), Pd (до 0.2 г/т), Ag (до 3.0 г/т), а также Ni, Cu, Co, Zn, Pb. На отдельных участках того же месторождения содержание золота достигает 3–8 г/т, ЭПГ – до 0.5 г/т.

Результаты пяти анализов различных по составу цемента и содержанию сульфидов кварцевых конгломератов, конглогравеллитов и перекрывающих их алевросланцев стойленской свиты в пределах Лебединского железорудного карьера показали (табл. 8) постоянное присутствие Au и ЭПГ, преобладание Pd над Pt ($Pd/Pt > 1$), повышенные содержания Ru и Ir, а также Ag.

Микрозондовым анализом в составе рудного минерального парагенезиса установлены (табл. 9) высокопробное золото самородное серебросодержащее с примесями Pt (500 г/т) и Te (300 г/т), а также платиносодержащий висмутин (Pt – до 4400 г/т), золото-платино-палладийсодержащие пирротины ($Au = 1700$ г/т; $Pt = 1800$ г/т; $Pd = 300–700$ г/т), золотосодержащий галенит ($Au = 300$ г/т), а также герсдорфит. Следует отметить, золото самородное достаточно часто отмечается в виде мелких (до 0.03–0.04 мм) включений в пирите.

По характеру продуктов докурских химически сравнительно зрелых кор выветривания – продуцентов конгломерато-кварцитовой формации, особенностям ее внутреннего строения и состава, общему металлогеническому облику (Au, ЭПГ, U) и закономерностям распределения золота и платиноидов ($Au > Pd > Pt \geq Ru, Ir > Rh$), ассоциирующих преимущественно с сульфидами, конгломераты КМА обнаруживают заметную аналогию с конгломератами U-Au-Pt формации Витватерсранда (Ю. Африка), Блейнд-Ривера (Канада), Жакобины (Бразилия). Образование столь значительных мощностей

Таблица 8. Содержание (мг/т) благородных металлов в конгломератах и конглогравеллитах из верхней части разреза стойленской свиты (Лебединский железорудный карьер) по [22]

№ п/п	Au	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Ag
1	51	20	38	4	20	20	2110
2	71	20	30	4	20	20	1190
3	10	20	22	4	20	20	1620
4	52	25	71	4	20	20	1510
5	75	20	84	20	20	20	1930

Примечание. 1–3 – сульфидизированные конгломераты олигомиктовые кварцевые с кварц-фукситовым (1) и биотит-фуксит-кварцевым цементом (2, 3); 4 – сульфидизированный алевросланец из кровли конгломератовой пачки; 5 – конглогравеллит. Юго-западный забой Лебединского карьера, горизонт (+)75 м. Анализы выполнены в КНЦ РАН (пламенно-фотометрический метод, аналитик Л.В. Филиппычева).

пород конгломерато-кварцитовой формации, включающей ритмично построенные конгломерато-гравеллитовые толщи, согласуется с представлением о формировании мощных металлоносных кластогенных пород среди осадков рифтогенных по своей природе зон в зоне развития архейских зеленокаменных поясов. Размещение продуктивных рудных конгломератов в подобных структурах определяется наличием тектонических узлов с активным размывом продуктов древних гранит-зеленокаменных областей, химически развитых кор выветривания и их переотложением в палеодолинах ритмично формирующегося рифта. Существенную роль при длительном (2.9–2.05 млн. лет; [7, 40]) образовании полигенных месторождений благородных металлов в конгломератах имели процессы тектономагматической активизации троговых прогибов, в которых конгломератовые толщи являлись благоприятной физико-химической средой для формирования U-Au-ЭПГ ассоциации в многостадийной эволюции рудогенеза [7, 22].

Вместе с тем, генезис месторождения Витватерсранд – одного из близких эталонных объектов для конгломерато-кварцитовой формации КМА [5, 8, 11, 22] является дискуссионным как в оценке источников рудного вещества, так и условий самого процесса рудогенеза. Полученные в последние годы новые данные [7, 22] свидетельствуют, что фор-

Таблица 9. Результаты микрозондового анализа (мас. %) рудных минералов конгломератов стойленского типа (по [22])

№ п/п	Pt	Pd	Au	Ag	Te	Bi	Fe	Ni	Mn	Pb	Cu	S	Sb	As	Sum
1	0.05		95.50	4.36	0.03		0.36		0.05		0.11				100.46
2	0.44			н.о.		79.63	0.61			0.28		18.46	0.12		99.54
3			0.03	н.о.	0.05	1.83	0.04			83.63		13.61			99.19
4	0.18	0.07		н.о.		0.16	53.61	0.84	0.03			39.23	0.09		94.21
5		0.03		н.о.		2.60	55.85	0.12	0.02			39.22		0.03	97.87
6			0.17	н.о.	0.02	0.35	54.97	0.05	0.02		0.01	38.35	0.01		93.95
7				н.о.	0.04		10.39	22.51			0.03	21.88	0.02	40.70	95.57

Примечание. 1 – золото самородное, 2 – висмутин, 3 – галенит, 4–6 – пирротин, 7 – герсдорфит. Микрозондовый анализ выполнен на приборе MS-46 Cameca в лаборатории ИМГРЭ.

мирование уникальной рудообразующей системы типа Витватерсранд осуществлялось в условиях сопряженной деятельности трех разнотипных по своей природе источников рудного вещества: а) экзогенного за счет кор выветривания, развивающихся на нижележащих гранит-зеленокаменных образованиях (архейских зеленокаменных поясов, при этом, судя по составу минералов платиновой группы, представленных в основном соединениями системы Ir–Ru–Os (самородный осмий, иридоосмий, осмирид, самородный иридий, реже рутениридоосмий, рутенистый иридий, рутеносмирид, иридарсенид, рутенарсенид, твердые растворы Fe–Pt с Os, Ru и Pt, Ru, Rh, а также изоферроплатина, сперрилит и др. [42]) источником ЭПГ скорее всего были ультрамафиты дунит-перидотитовой (коматитовой [7, 22] или офиолитовой) формации архея; б) магматогенно-флюидно-гидротермального в связи с неоднократной тектономагматической активизацией в палеопротерозое и в) метаморфогенно-гидротермального с экстракцией рудного вещества из субстрата и его мобилизацией в наиболее благоприятные горизонты U–Au–Pt конгломератокварцевой формации. В совокупности эти процессы позволяют отнести эту уникальную по запасам и ресурсам U–Au–Pt рудообразующую систему к полихронному и полигенному типу.

Сосредоточенные в промышленных и потенциально-промышленных сульфидных платиноидно-медно-никелевых типах месторождений (мамонский, еланский, смородинско-новогольский) Хоперского мегаблока значительные запасы и ресурсы цветных (Ni, Cu, Co) и благородных металлов в совокупности с новыми нетрадиционными крупнообъемными источниками ЭПГ и золота в черносланцевых стратифицированных комплексах, их метасоматитах (тимской, старооскольский и кшенский типы) и в уникальных по запасам железистых кварцитах и их техногенных продуктах (курский и курско-белгородский типы) КМА выступают в качестве надежной основы создания в текущем столетии новой Центрально-Европейской базы золотоплатинодобычи с целью обеспечения минерально-сырьевой безопасности страны и долгосрочного устойчивого социально-экономического развития крупного Курско-Воронежского региона России.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента РФ “Ведущие научные школы РФ” (НС-2211.2008.5), РФФИ и Госконтракта Роснаука № 02.740.11.021.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голышев Н.И., Кононов Н.Д., Орлов В.П. Железные руды КМА / под ред. В.П. Орлова. М.: Геоинформмарк, 2001. 616 с.
2. Гурская Л.И. Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. СПб.: ВСЕГЕИ, 2000. 208 с.
3. Додин Д.А., Додина Т.С., Золотов К.К. и др., Платина России: состояние и перспективы // Литосфера. 2010. № 1. С. 3–36.
4. Додин Д.А., Золотов К.К., Коротеев В.А., Чернышов Н.М. Углеродсодержащие формации – новый крупный источник платиновых металлов XXI века. М.: Геоинформмарк, 2007. 130 с.
5. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Чередникова О.И. Металлогения платиноидов крупных регионов России. М.: Геоинформмарк, 2001. 302 с.
6. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометалльные месторождения России. СПб.: Наука, 2000. 755 с.
7. Кононов Н.Д. Металлоносные конгломераты КМА, их прогнозные и поисковые комплексы // Прогнозирование и поиски рудных месторождений на Воронежском кристаллическом массиве. М.: ВИМС, 1992. С. 42–50.
8. Лазаренков В.Г., Петров С.В., Таловина И.В. Месторождения платиновых металлов. СПб.: Недра, 2002. 298 с.
9. Ненахов В.М., Стрик Ю.Н., Трегуб А.И. и др. Минералогические исследования территорий с двухъярусным строением на примере Воронежского кристаллического массива. // М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2007. 284 с.
10. Петров Б.М., Кононов Н.Д. Метаморфизованные докурские коры выветривания и продукты их переотложения на территории КМА // Литогенез в докембрии и фанерозое Воронежской антиклизы. Воронеж: ВГУ, 1977. С. 43–48.
11. Плаксенко Н.А., Извеков Э.П., Щеголев И.Н. Древние метаконгломераты Курской магнитной аномалии // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1971. № 8. С. 28–39.
12. 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: мат-лы Всерос. симпоз. М.: ИГЕМ РАН, 2002. С. 381–384.
13. Холин В.М. Геология, геодинамика и металлогения раннепротерозойских структур КМА. Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Воронеж: ВГУ, 2001. 24 с.
14. Чернышов Н.М. Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-востока Воронежского кристаллического массива (породы, руды, генетические особенности). Воронеж: ВГУ, 1971. 312 с.
15. Чернышов Н.М. Промышленно-генетические типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений новой никеленосной провинции России и проблема их освоения // Вестник Воронеж. ун-та. Сер. 2. Естеств. науки. 1993. Вып. 1. С. 188–215.
16. Чернышов Н.М. Формационно-генетические типы платинометалльных проявлений Воронежского кристаллического массива // Платина России. Пробл. развития МСБ платиновых металлов. М.: Геоинформмарк, 1994. С. 85–103.
17. Чернышов Н.М. Еланский тип сульфидных медно-никелевых месторождений и геолого-генетическая модель их формирования (Центральная Россия) // Геология рудных месторождений. 1995. Т. 37, № 3.

- С. 220–236.
18. *Чернышов Н.М.* Новый тип золото-платинометалльного оруденения в стратифицированных черносланцевых комплексах ВКМ (закономерности размещения, минералого-геохимические особенности и геолого-генетическая модель формирования) // Вестник Воронеж. ун-та. Сер. геол. 1996. № 1. С. 114–132.
 19. *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.
 20. *Чернышов Н.М.* Типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудномагматических систем различных геодинамических режимов развития ВКМ (систематика, состав, граничные признаки, основные черты эволюции) // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер. геол. 1998. № 6. С. 70–80.
 21. *Чернышов Н.М.* Основные черты геодинамики и минерагении Воронежского кристаллического массива // Проблемы геодинамики и минерагении Восточно-Европейской платформы: мат-лы Междунар. конф. Т. 1. Воронеж: ВГУ, 2002. С. 144–149.
 22. *Чернышов Н.М.* Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). Воронеж: ВГУ, 2004. 448 с.
 23. *Чернышов Н.М.* Проблема комплексного освоения недр Земли в условиях быстрых антропогенных изменений (на примере железорудных предприятий КМА, Центральная Россия) // Экология антропогена и современности: Природа и человек. СПб: Гуманистика, 2004. С. 524–528.
 24. *Чернышов Н.М.* Благороднометаллосодержащие парагенезисы сульфидов и их аналогов в железорудных месторождениях КМА (Центральная Россия) // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. геол. 2007. № 1. С. 101–104.
 25. *Чернышов Н.М.* Золото-платинометалльное оруденение черносланцевого типа Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). Воронеж: ВГУ, 2007. 177 с.
 26. *Чернышов Н.М.* Минералы благородных металлов в рудах черносланцевого типа Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) // Записки ВМО. 2009. СXXXVI, № 1. С. 36–51.
 27. *Чернышов Н.М.* Типы и минеральный состав золото-платинометалльного оруденения железорудных месторождений-гигантов КМА (Центральная Россия). // Докл. АН. 2010. Т. 430, № 3. С. 395–399.
 28. *Чернышов Н.М.* Техногенные продукты железорудных месторождений-гигантов КМА – новый крупный объект золото-платинодобычи XXI столетия и проблемы его комплексного освоения в условиях экологических ограничений // Регион: системы, экономика, управление. Воронеж. 2010. № 1. С. 27–44.
 29. *Чернышов Н.М.* Платиноносные формации Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) // Платина в геологических формациях мира: мат-лы Междунар. симпоз. Красноярск: КНИИ-ГиМС, 2010. С. 231–243.
 30. *Чернышов Н.М.* Золото-платинометалльные рудообразующие системы и их эволюция в процессе формирования докембрийской литосферы (Центральная Россия) // Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы: мат-лы XVI Междунар. конф. / Под ред. Н.М. Чернышова и А.А. Моловичко. Т. II. Воронеж: Научная книга, 2010. С. 314–319.
 31. *Чернышов Н.М., Додин Д.А.* Формационно-генетическая типизация месторождений металлов платиновой группы для целей прогноза и металлогенетического анализа // Геология и геофизика. 1995. Т. 36, № 1. С. 65–70.
 32. *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. АН. 2003. Т. 391, № 1. С. 104–107.
 33. *Чернышов Н.М., Ненахов В.М.* Геодинамические и минерагенические ряды в общей модели эволюции докембрийской литосферы (на примере ВКМ) // Структура, свойства, динамика и минерагения литосферы Восточно-Европейской платформы: мат-лы XVI Междунар. конф. / под ред. Н.М. Чернышова и А.А. Моловичко. Т. II. Воронеж: Научная книга. 2010. С. 319–326.
 34. *Чернышов Н.М., Ненахов В.М., Лебедев И.П., Стрик Ю.Н.* Модель геодинамического развития Воронежского кристаллического массива в раннем докембрии // Геотектоника. 1997. № 3. С. 21–30.
 35. *Чернышов Н.М., Петров С.В.* Новые минеральные формы платиноидов и золота в железистых кварцитах Лебединского месторождения КМА (Центральная Россия). // Докл. АН. 2006. Т. 408, № 4. С. 586–589.
 36. *Чернышов Н.М., Петров С.В., Молотков С.П.* Особенности распределения и формы нахождения благородных металлов в железистых кварцитах Михайловского месторождения КМА и их техногенных продуктах (Центральная Россия) // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. геол. 2003. № 1. С. 93–104.
 37. *Чернышов Н.М., Чернышова М.Н.* Эволюция сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС в вертикальных геодинамических рядах ВКМ // Современная геодинамика, глубинное строение и сейсмичность платформенных территорий и сопредельных регионов: тез. докл. Междунар. конф. Воронеж: ВГУ, 2001. С. 212–213.
 38. *Чернышова М.Н.* Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия). Воронеж: ВГУ, 2005. 368 с.
 39. *Чернышова М.Н.* Сульфидные платиноидно-медно-никелевые и никель-кобальтовые руды в дайково-жилных комплексах и метасоматитах Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) // Литосфера. 2006. № 3. С. 71–82.
 40. *Шелехов А.Н., Лючкин В.А., Ляховкин Ю.С.* Месторождения железистых кварцитов и продукты их предела – новый перспективный источник золото-платинометалльного сырья в XXI в. (на примере Центральной России) // Платина России. Т. III, кн. 2. М.: Геоинформмарк, 1999. С. 289–294.
 41. *Шипанский А.А., Самсонов А.В., Петров А.Ю., Ларионова О.О.* Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое // Геотектоника 2007. № 1. С. 43–70.
 42. *Feather C.E.* Mineralogy of Platinum-Group Minerals

in the Witwatersrand. South Africa. Econ. Geol. 1976. V. 71, № 7. P. 999–1428.

43. *Gorbachev R., Bogdanova S.R.* Frontiers in the Baltic Shield. Precambrian Research. 1993. V. 64. P. 3–22.

Рецензент К.К. Золоев

**Platiniferous and gold-platiniferous formations
in the Voronezh Crystalline Massif (Central Russia)
in different condition of precambrian lithosphere formation**

N. M. Chernyshov, M. N. Chernyshova

Voronezh State University

On the basis of the previously developed model of a long-term multi-stage (Early, Late Archaean and Paleoproterozoic) evolution of the lithosphere and the formation of its structural-material complexes a close correlation between geodynamic condition and different types of noble metals ore-forming processes is revealed. The time and place of gold-platiniferous formations in the general evolution of the lithosphere are established. The most commercially important numerous geologic-genetic types of complex multi-element gold-platinum deposits and occurrences associated with the most intensive processes of structural differentiation of the Earth crust in the Paleoproterozoic are identified. Brief data on the patterns of their distribution, structure, resources, and possible prospects for development in the 21st century are presented.

Key words: geodynamics, evolution of the lithosphere, minerageny of noble metals, the Voronezh Crystalline Massif.