

**РЕГИОНАЛЬНЫЕ И ЛОКАЛЬНЫЕ ПРИЗНАКИ И КРИТЕРИИ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ
ЗОЛОТО-ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ
ЧЕРНОСЛАНЦЕВОГО ТИПА ДОКЕМБРИЙСКОГО ФУНДАМЕНТА
КУРСКО-ВОРОНЕЖСКОГО РЕГИОНА****Член-корр. РАН Н. М. Чернышов***Воронежский государственный университет*

Приведена систематика и структурно-вещественная характеристика благороднометалльного оруденения, ассоциирующего с разновозрастными углеродистыми толщами и метасоматитами ВКМ. Выделены граничные признаки и критерии прогнозирования наиболее важных в промышленном отношении тимского, кшенского и старооскольского типов золото-платинометалльного оруденения двух уровней: а) регионального и б) локального. Приведены основные рудно-формационные параметры (геолого-тектонические, структурно-вещественные, метаморфические и гидротермально-метасоматические, рудолокализирующие, рудно-минералого-геохимические и др.), определяющие выбор и оценку площадей развития углеродосодержащих толщ и их метасоматитов на конкретные типы золото-платинометалльного оруденения. Предложена модель технологии прогнозирования и поисков золото-платинометалльного оруденения.

Ключевые слова: золото-платинометалльное оруденение, черносланцевые толщи, рудно-формационные параметры, критерии и модель прогнозирования.

Главным источником платинодобычи в России ныне являются комплексные сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения и отчасти россыпи, ресурсы и запасы которых сравнительно ограничены. Вместе с тем, многообразие сфер использования и резкое возрастание потребления платиноидов и золота, характеризующихся крайне низкими содержаниями в земной коре, настоятельно требуют поисков новых, нетрадиционных источников. Среди новых крупнообъемных источников платиноидов и золота ныне особое внимание придается металлоносным (Mo, W, Au, U, P, V, Ni, Zn, Cu, Ag, редкие земли) высокоуглеродистым стратифицированным толщам и их метасоматитам, выступающим в качестве уникальных аккумуляторов благородных металлов и продуцентов россыпей. Исключительно широкое развитие высокоуглеродистых толщ, значительная протяженность (сотни — первые тысячи километров), многоуровневый стратифицированный характер их размещения в геологических разрезах Земли, высокие концентрации благородных металлов выдвигают полифациальные и полиформационные по своей природе высокоуглеродистые платиноносные об-

разования в качестве глобального источника прироста ресурсов, запасов и золото-платинодобычи XXI столетия [1–4, 7, 9, 10, 14, 15, 19, 21].

**1. ТИПЫ, ЗАКОНОМЕРНОСТИ
РАЗМЕЩЕНИЯ И СОСТАВ ЗОЛОТО-
ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ
ЧЕРНОСЛАНЦЕВОГО ТИПА**

В пределах Воронежского кристаллического массива (ВКМ) комплексное золото-платинометалльное оруденение, ассоциирующее со стратифицированными высокоуглеродистыми образованиями и их метасоматитами, установлено [13–19] во всех структурно-вещественных комплексах (СВК), сформировавшихся в условиях: а) раннеархейской нуклеократонизации (графитизированные и сульфидизированные плагиогнейсы обоянской серии; Au = 1,97 г/т, Pt — до 5,1 г/т); б) позднеархейского рифтогенеза (зеленокаменные пояса в объеме михайловской серии с золото-палладийсодержащими колчеданными рудами; Au = 1,2 г/т, МПГ до 1,0 г/т); в) субдукции (золотосодержащие сланцы Лосевской шовной зоны; Au = 1,7 г/т, МПГ = 1,3 г/т), формирования раннепротерозойских рифтогенных структур КМА с золото (Au — до 3,4 г/т) — платиноидными (МПГ — до 5,4 г/т) сульфидизирован-

ными сланцами и золото- (Au — до 7,0 г/т, иногда до 21 г/т) и палладийсодержащими (Pd — до 1,2 г/т; Pt — до 0,30 г/т) железистыми кварцитами курской серии, углеродистыми вулканогенно-осадочными сланцами и их метасома-

татами оскольской серии (МППГ — до 1,8–2,1 г/т, Au — 14,6 г/т, иногда — до 20,2 г/т), графитизированными гнейсами и метасоматитами (МППГ — до 0,2 г/т, Au — до 1,7 г/т) воронцовской серии Хоперского мегаблока (рис. 1, табл. 1).

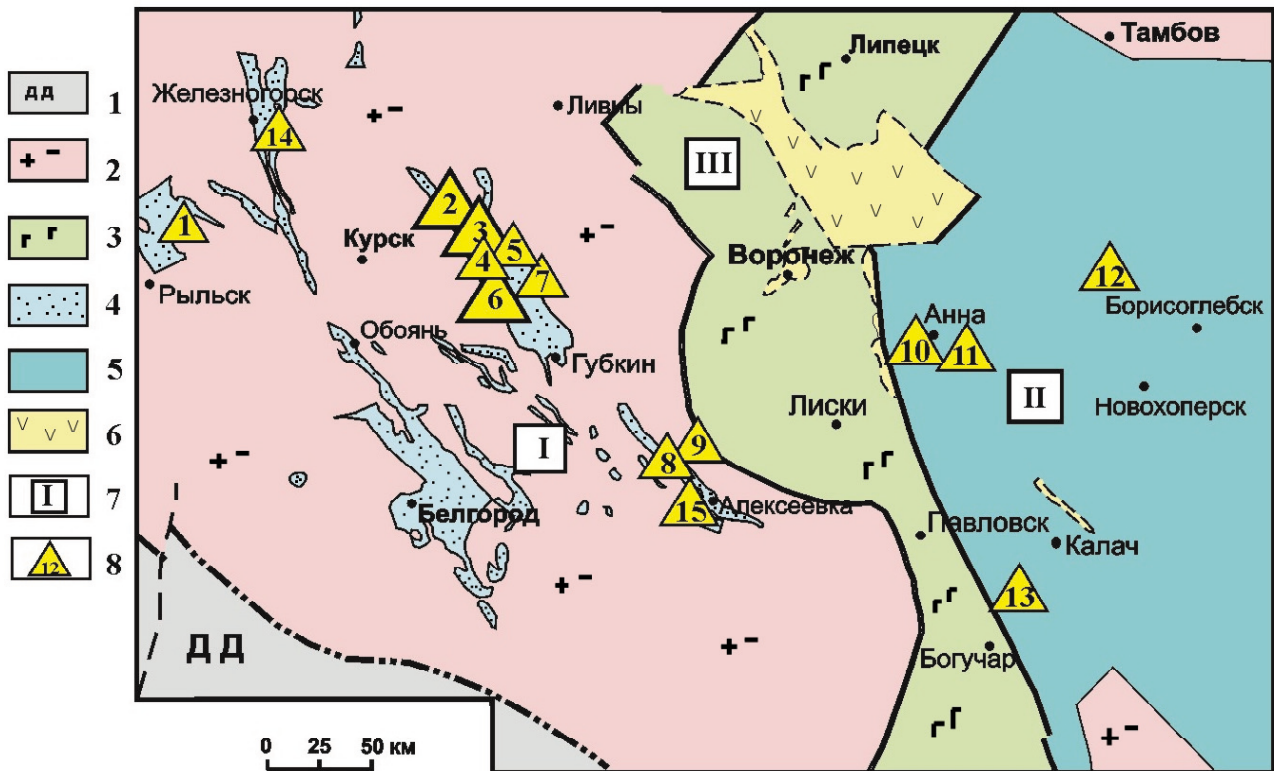


Рис. 1. Схема размещения золото-платиноносных рудопоявлений и потенциальных рудоносных объектов в черносланцевых толщах и их метасоматитах ВКМ: 1 — границы ВКМ и прилегающие геологические структуры: ДД — Днепровско-Донецкий авлаоген; 2 — СВК архейского основания; 3 — СВК Лосевской шовной зоны; 4–6 — раннекарельские вулканогенно-терригенные комплексы этапа рифтогенеза (4); эпикратонного прогибания пассивной континентальной окраины (5); вулканогенно-осадочные и интрузивные комплексы тафрогенного и раннеплатформенного этапов (6); 7 — мегаблоки ВКМ: I — КМА, II — Хоперский, III — Лосевская шовная зона; 8 — месторождения, рудопоявления и потенциально рудоносные участки (1 — Студеновский; 2 — Сергиевский; 3 — Луневский; 4 — Тимской; 5 — Луговской; 6 — Погоженский; 7 — Кшенский; 8 — Волотовский; 9 — Вост. Волотовский; 10 — Рябиновско-Большемартыновский; 11 — Анненский; 12 — Троицкий; 13 — Сухой Яр; 14 — Железногорский; 15 — Старооскольский)

Типы золото-платинометалльного оруденения в углеродистых формациях и их место среди раннедокембрийских структурно-вещественных комплексов различных геодинамических режимов ВКМ (Курско-Воронежский регион)

Типы структур	Рудовмещающие формации (серии, комплексы)	Генетические типы платиноидных месторождений, проявлений и потенциальных объектов				
		типы	установленные		прогнозируемые	
			крупные	средние и мелкие	крупные	средние и мелкие
Раннеплатформенный этап						
Рифты и реактивизированные разломы в внутриплитного развития	Трапповая (троктолит-габбро-долеритовые дифференцированные плутоны смородинского и новогольского комплексов)	3. Платиносодержащий титаномагнетитовый 2. Малосульфидный платинометалльный 1. Сульфидный платиноидно-медно-никелевый		+		+
Тафрогенный этап						
Реактивизированные разломы, наложенные прогибы аллохтонного типа в зонах сочленения разнотипных структур	Кольцевые габбро-норит-кварцмонзонит-гранитные плутоны (ольховский комплекс)	Малосульфидный платинометалльный				+
	Габбро-верлитовая (шукавский комплекс)	Сульфидная платиноидно-медно-никелевый		+		+
	Углеродистая вулканогенно-осадочная, конгломераты зон несогласия (воронежская свита)	<i>Платиноидно-золоторудный (воронежский)</i>				+
Этап рифтогенеза, спрединга и автономного развития континентов, субдукции и коллизии						
Курский мегаблок	Высокоуглеродистые вулканогенно-осадочные сланцы и их метасоматиты (оскольская серия)	2. <i>Платиноидно-золоторудный (киевский)</i> 1. <i>Золото-платинометалльный (тимской)</i>	+	+	+	
	Железистые кварциты (курская серия) и внутрирудные сланцы	<i>Золото-платинометалльный (курский и старооскольский)</i>	+	+	+	
	Конгломераты зон несогласий	<i>Золото-уран-платиносодержащий (стойленский)</i>		+		+
Хоперский мегаблок	Высокоуглеродистые сланцы и эруптивные брекчии, графитизированные гнейсы (воронцовская серия)	<i>Палладиевый-золото-ртутно-серебряный (троицкий)</i> <i>Платиноидно-золоторудный (воронцовский)</i>		+		+
	Ортопироксенит-норит-диоритовая (еланский комплекс)	Сульфидный платиноидно-медисто-никелевый		+	+	
	Дунит-перидотит-пироксенит-норит-габбровая (мамонский комплекс)	4. Платиносодержащий титаномагнетитовый 3. Малосульфидный платинометалльный 2. Сульфидный платиноидно-медно-никелевый 1. Платиносодержащий хромитовый		+		+
Энсиалический рифтогенез (поздний архей)						
Зоны рифтогенеза и коллизии («верхние» з.п.)	Осадочные и вулканогенно-осадочные с колчеданным оруденением (александровская свита)	<i>Колчеданный золото-палладийсодержащий (авильский)</i>		+		+
	Коматиит-базальтовая и дунит-перидотитовая (михайловская серия и железногорский комплекс)	Сульфидный платиносодержащий медисто-никелевый		+		+
Этап формирования раннеархейской протокоры						
Ареальные вулканоплутонические структуры («нижние» з. п.)	Углеродистая (графитизированная) вулканогенно-осадочная	<i>Платиносодержащие графитизированные гнейсы (обоянский)</i>		+		+
	Перидотит-пироксенит-габбронорит-анортозитовая (бесединский комплекс)	Сульфидный платиносодержащий медно-никелевый		+		+

Примечание. Курсивом выделены типы благороднометалльного оруденения, ассоциирующего со стратифицированными комплексами и метасоматитами различных геодинамических режимов.

Наиболее высокие концентрации благородных металлов связаны с высокоуглеродистыми терригенно-осадочными и вулканогенно-осадочными породными ассоциациями оскольской и курской серий раннепротерозойских интракратонных складчато-глыбовых структур этапа внутриконтинентального рифтогенеза, спрединга и автономного развития континентов, субдукции и коллизии (тимской, старооскольской, кшенской типы (табл. 1)). Пространственно они сопряжены с позднеархейскими зеленокаменными поясами. Характерными особенностями золото-платиноносных структурно-формационных зон являются [7, 14]: а) полицикличность и многостадийность развития с резким преобладанием терригенно-осадочных (в том числе мощных железорудных) отложений на ранних стадиях и возрастающей ролью углеродистых вулканогенно-осадочных и вулканических образований (оскольская серия) на поздних стадиях их формирования; б) широкое развитие в разной мере дифференцированных вулканоплутонических ассоциаций с пикрит-толеит-базальтовыми и базальт-андезит-дацитовыми вулканитами (оскольская серия) и магматитами ультрамафит-мафитового (золотухинский и волотовский комплексы), габбро-диорит-гранодиоритового (стойло-никалаевский интрузивно-дайкавый) и гранитоидного (малиновский) составов с отчетливой металлогенической специализацией на Cu, Pb, Zn, Au, Ag, МПГ, Р и др.; в) высокая степень интенсивности проявления складчатости и взбросо-надвиговых перемещений, сложный структурный рисунок разломных нарушений различных порядков с образованием зон объемного катаклаза, выступающих в качестве рудоконтролирующих элементов рудообразующих систем; г) низкоградиентный тип метаморфизма в условиях эпидот-амфиболитовой и в большей мере зеленосланцевой фаций, способствующий перераспределению и накоплению рудного вещества и широкому развитию разнообразных по составу метасоматитов, сопровождающихся комплексным золото-платинометалльным оруденением тимского, кшенского и старооскольского типов.

Золото-платинометалльное оруденение **тимского типа** 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. 2), характеризуется [14–17, 19, 21]: а) локализацией в нижней углеродистой терригенно-осадочной части

разреза тимской свиты оскольской серии; б) многоуровневым (3–7 горизонтов мощностью от первых метров до 25–30 м) размещением, отчетливой корреляционной связью МПГ и Au с С, S и рядом петрогенных и малых (Ni, Cu, Co, Cr, Zn, Ti, V, Р и др.) элементов, преимущественно базальтоидным типом распределения МПГ ($Pd \geq Pt > Rh > Ru > Ir \geq Os$); в) высокой степенью накопления благородных металлов в наиболее тонкозернистой (< 0,06 мм) сульфидно-углеродистой фракции, в которой их концентрации многократно превышают содержания в исходных (рудовмещающих) породах; г) наличием собственных минеральных фаз Au и МПГ и значительная обогащенность этими металлами сульфидов и их аналогов.

В качестве типовых структурно-вещественных и рудно-формационных признаков **кшенского типа** золото-платиносодержащего оруденения выступают [17, 20, 21]: а) отчетливая приуроченность рудных тел к субсогласной с общим планом Тим-Ястребовской структуры протяженной (свыше 100 км при ширине 2–8 км) Воскресновской рудоносной зоне расланцованных, 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; б) высокая степень насыщенности рудоносной зоны интрузивами и дайками различного возраста, состава и формационно-генетической принадлежности; в) сложные сочетания реликтовых и многочисленных наложенных минеральных парагенезов рудовмещающих пород, связанных с лиственитизацией, березитизацией, турмалинизацией, биотитизацией, окварцеванием, развитием кварцполевошпатовых и других разновидностей метасоматитов, отражающих многоэтапность и полифациальность метаморфических и гидротермально-метасоматических процессов формирования золото-платиносодержащей рудообразующей системы; г) отчетливая пространственно-временная связь золото-платиносодержащих руд с зонами повышенной сульфидной минерализации, определяющая принадлежность оруденения к сульфидно-вкрапленному типу с ведущей ролью пирит-пиритинового и арсенипирит-пиритового минеральных парагенезисов при крайне ограниченном проявлении жильного сульфидно (пирит) — кварцевого типа; д) резкое преобладание Au (230–6500 мг/т, иногда до 20100 мг/т) над Pt (60–680 мг/т, в редких случаях до 18000 мг/т) и Pd (50–100 мг/т, иногда

до 400 мг/т); е) значительная аналогия по геолого-структурному положению, характеру рудовмещающих пород, условиям локализации бескварцевого сульфидно-вкрапленного типа оруденения с

рядом известных крупных месторождений (Калгури в Австралии, Гейта в Танзании, Вендерер в Южной Родезии; [6, 12]).

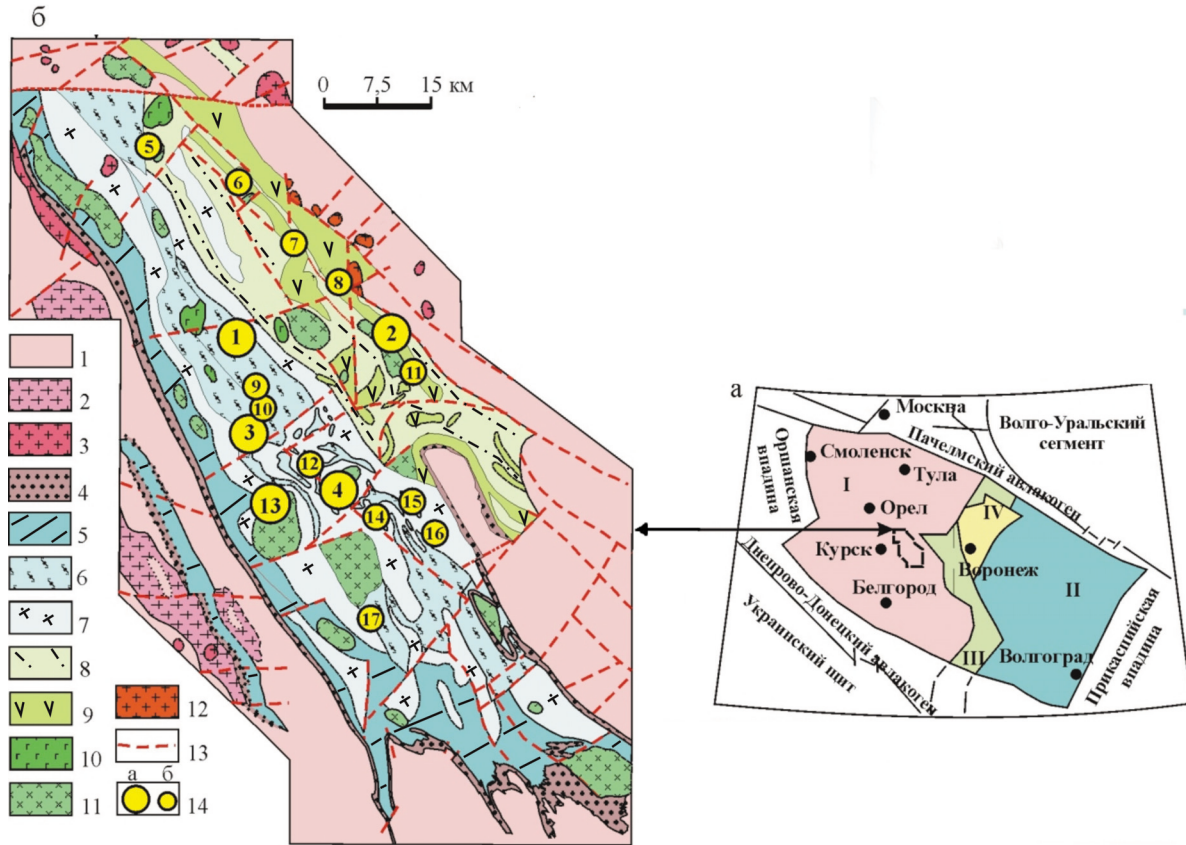


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Тим-Ястребовской золото-платиноносной структуры (б), ее местоположение на ВКМ (а): а) I — мегаблок КМА; II — Хоперский мегаблок; III — Лосевская шовная зона; IV — Ольховско-Шукавская грабенсинклинали; многоугольником обозначено местоположение Тим-Ястребовской структуры; б) 1 — обоянский плутоно-метаморфический комплекс (AR_{1ob} ; плагиогнейсы, прослои и линзы амфиболитов, прослои кварцитов); 2 — салтыковский комплекс мигматит-плагиогранитовый (AR_{2sl} ; плагиограниты, тоналиты, гранодиориты); 3 — атамановский комплекс умеренно-щелочных гранитов (AR_{2a} ; граниты умеренно щелочные плагиоклаз-микроклиновые); 4–12 — раннекарельские образования: 4 — курская серия (K_1ks ; кварцито-песчаники, сланцы, железистые кварциты); 5–9 — оскольская серия: 5 — роговская свита (K_1rg ; карбонатные сланцы, кварц-биотитовые сланцы, доломиты, известняки); 6–9 — тимская свита, нижняя и верхняя подсвиты: 6–7 — нижняя тимская подсвита (K_1tm_1): 6 — существенно терригенная: углеродистые сланцы, метапесчаники, метаалевролиты; 7 — вулканогенно-терригенная: ортосланцы основного и среднего состава, амфиболиты, углеродистые сланцы; 8–9 — верхняя тимская подсвита (K_1tm_2): 8 — нижняя терригенно-углеродистая толща (метапесчаники, сланцы, карбонатные сланцы, амфиболиты); 9 — верхняя вулканогенная толща (ортосланцы ультраосновного, основного и реже среднего состава, амфиболиты, метапесчаники); 10 — золотухинский перидотит-пироксенит-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 (а, б) 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

Стратиформный платиноидно-золоторудный **старооскольский тип** оруденения, имеющий широкое развитие в пределах раннепротерозойских железорудных месторождений, характеризуется

приуроченностью к внутрирудным углеродсодержащим сульфидизированным сланцам коробковской свиты курской серии и повышенными содержаниями МПП (до 3,5 г/т Pd, 0,8 г/т Pt), золота (до

3,29 г/т) и серебра (до 15,55 г/т). Проведенные оригинальные экспериментальные исследования позволили установить, что основное количество благородных металлов в руде находится в виде микро- и наночастиц, при переводе которых в макро-частицы по специальной методике и последующем разделении на фракции при содержании в исходной пробе золота до 3,29 г/т в полученном концентрате тяжелой фракции (11 % объема пробы) количество Au составило 30,17 г/т. При разделении тех же фракций на последующих стадиях по магнитной восприимчивости на магнитную (2,2 %) и электромагнитную (25,89 %) средневзвешенное содержание по всей пробе составило 82,26 г/т. По предварительным результатам исследований доказана возможность и перспективность использования этой технологии для промышленного извлечения МПГ. К стратиформному типу принадлежит новый крупнообъемный источник Au и МПГ, располагающийся в зоне контакта верхнестойленской углеродсодержащей сланцевой свиты с перекрывающими ее безрудными и малорудными кварцитами коробковской железорудной свиты курской

серии. Этот тип оруденения, наиболее полно проявившийся в Михайловском железорудном узле (рис. 3), слагает значительные по протяженности (до 70 км) и мощности (до 90 м) рудоносные залежи с устойчиво высокими концентрациями Au (до 4,83 г/т), Pd (до 0,77 г/т) и Pt (до 0,30 г/т), Ag (до 2,1 г/т) и наличием собственных минеральных фаз благородных металлов (Au, Pt, Os, Ir, Ru и др.).

Золото-платинометалльное оруденение тимского, старооскольского и кшенского типов характеризуются сложным многокомпонентным, полиминеральным составом (свыше 60 рудных минералов, в том числе более 20 собственных минеральных фаз МПГ и Au; табл. 2) и многообразием форм распределения благородных металлов в виде [8, 15, 17, 20, 21]: 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, платиридо-смин, платосмиридий, золото ртуть-теллур-серебросодержащее, амальгама золота-серебра, аркверит, станнид-палладия (неназванный минерал), платина-палладий-золото-серебро-олово; в) сульфидов, теллуридов, антимонидов, селенидов и сульфосолей МПГ, Au и Ag — сперрилит, ирарсит, гёссит, селенид палладия и платины (неназванный минерал), тестибиопалладинит, антимонид палладия и золота (неназванный минерал) и др.; г) примесей в основных платино-палладий-золотосодержащих рудообразующих сульфидах (мас. %) —

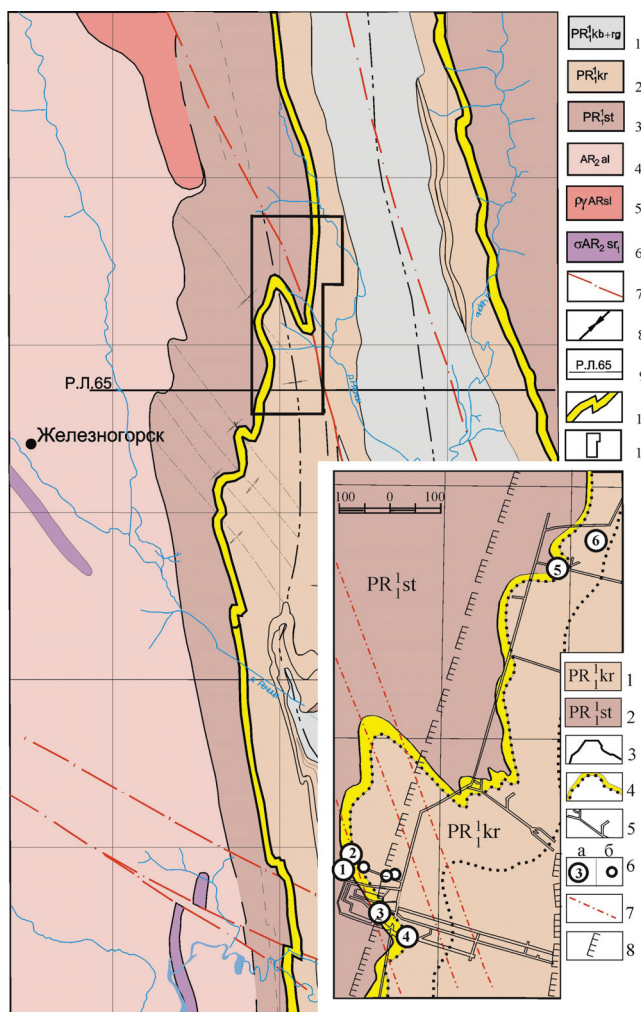


Рис. 3. Положение золото-платиноносной зоны стратиформного типа Михайловского рудного узла (по [20]): 1 — курбакинская и роговская свиты; 2 — коробковская свита; 3 — стойленская свита; 4 — верхний архей, александровская свита; 5–6 — магматические комплексы: салтыковский (5) и сергиевский (железногорский; 6); 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; 4 — геологические границы карбонатно-магнетитовых кварцитов; 5 — подземные горные выработки; 6 — благороднометалльные проявления: а) в г/т: 1 — Au = 0,84; Pd = 0,77; Pt = 0,13; 2 — Au = 0,50; Pd = 0,63; Pt = 0,12; 3 — Au = 2,87; Pd = 0,58; Pt = 0,30; 4 — Au = 4,83; Pd = 0,60; Pt = 0,21; 5 — Au = 2,99; Pd = 0,65; 6 — Au = 0,86; Pd = 0,61; б) золота с содержанием не менее 0,5 г/т; 7 — разрывные нарушения; 8 — контуры карьера

Рудные минералы золото-платинометаллического оруденения тимского и кшенского типов

<i>Самородные металлы</i>	
Золото	Au
Палладий	Pd
Платина	Pt
Осмий	Os
Медь	Cu
Серебро	Ag
<i>Металлические твердые растворы и интерметаллические соединения</i>	
Палладий платиносодержащий	$Pd_{0,94}Pt_{0,06}$
Платина железосодержащая	$Pt_{0,96}Fe_{0,04}$
Золото-платина-палладий	$Pd_{0,86}Pt_{0,08}Au_{0,04}Fe_{0,02}$
Осмистый иридий (невьянскит?)	(Ir,Os)
Платиридосмин	(Os, Ir, Pt)
Рутениридосмин	(Os, Ir, Ru)
Золото ртуть-теллур-серебросодержащее	$Au_{0,53}Ag_{0,29}Te_{0,07}Hg_{0,02}$
Амальга золота-серебра	$Au_{6,95}Ag_{6,07}Hg_{3,14}$
Аркверит	(Ag,Hg,Pt)
Станнид палладия (неназванный минерал)	$PdSn_2$
Платина-палладий-золото-серебро-олово	(Pt,Pd,Au,Ag,Sn,Zn)
<i>Сульфиды</i>	
Пирит	FeS_2
Ni-Cu-пирит	$(Fe,Cu,Ni)S_2$
Ni-Co-пирит	$(Fe,Ni,Co)S_2$
Макинавит	$(Fe_{7,86}Ni_{0,89}Co_{0,04}Cu_{0,13}Zn_{0,02})_{8,94}S_{8,06}$
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	$CuFe_3S_3$
Виоларит	$FeNi_2S_4$
Марганцовистый сфалерит	$(Zn_{0,87}Mn_{0,13})S$
Селенистый галенит	$(Pb_{0,99}Fe_{0,03}S_{1,02})(S_{0,77}Se_{0,21})_{0,98}$
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	$PtAs_3$
Ирарсит	(Ir, Ru, Rh, Pt) AsS
Арсенопирит	$(Fe_{0,9}Ni_{0,1})AsS$
Алтаит	$(Pb_{0,95}Fe_{0,13}Te_{1,08})_{0,92}$
Гёссит	$(Ag_{1,94}Cu_{0,04})_{1,98}Te_{1,02}$
Ульманит	$(Ni_{0,87}Co_{0,07}Fe_{0,07}Cu_{0,01})_{1,02}Sb_{1,01}S_{0,97}$
Теллуировисмутит	$(Bi_{1,69}Pb_{0,23}Fe_{0,11}Ag_{0,04})_{2,07}(Te_{2,89}Sb_{0,02}Se_{0,01})_{2,92}$
Буланжерит	$(Pb_{4,64}Cu_{0,57}Fe_{0,28}S_{5,44})(Sb_{3,92}Sn_{0,02})_{3,49}(S_{10,4}Se_{0,10})_{10,59}$
Клаусталит	$(Pb_{0,98}Cu_{0,02})_{1,0}(Se_{0,78}S_{0,27})_{1,0}$
Цинкосодержащий станнин	$Cu_{1,95}(Fe_{0,97}Zn_{0,11})_{1,08}Sn_{1,02}S_{3,95}$
Станнин	$Cu_{1,98}(Fe_{1,08}Ni_{0,01})_{1,09}Sn_{1,00}S_{3,94}$
Селенид палладия и платины (неназванный минерал)	$(Pd_{2,39}Pt_{0,53}Fe_{0,06})_{2,98}Se_{2,02}$

Тетраэдрит	$\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$
Теллурантимонид палладия (тестибиопалладинит (?))	$(\text{Pd}_{0,88}\text{Fe}_{0,10}\text{Ni}_{0,08})_{1,06}(\text{Te}_{1,01}\text{Sb}_{0,89}\text{Bi}_{0,04})_{1,94}$
<i>Оксиды, вольфраматы, молибдаты, фосфаты и др.</i>	
Ильменит	FeTiO_3
Магнетит	Fe_3O_4
Рутил	TiO_2
Касситерит(?)	SnO_2
Шеелит	$\text{Ca}(\text{W},\text{Mo})\text{O}_4$
Перовскит	$(\text{Ca},\text{Ba},\text{Sr})\text{TiO}_3$
Титанат бария	$(\text{Ba},\text{Ca})(\text{Ti},\text{Zr})\text{O}_4$
Титанат бария и висмута	$(\text{Ba},\text{Bi})_{1-x}(\text{Ti},\text{Nb})\text{O}_3$
Бадделит	$(\text{Zr},\text{Hf},\text{Sc})\text{O}_2$
Циркон	$\text{Zr}[\text{SiO}_4]$
Барит	$\text{Ba}[\text{SO}_4]$
Монацит	$(\text{Ce},\text{La},\text{Nd},\text{Th},\text{Y},\text{Gd},\text{Sm})\text{PO}_4$
Апатит	$\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F},\text{Cl})$

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

Комплекс структурно-вещественных признаков по закономерностям размещения, минеральному и химическому составу пород и руд, формам нахождения МПГ, Au и их взаимосвязи с определенными фаціальными типами углеродистых сланцев и вулканитов, соотношениям стабильных изотопов C, O, S и другим параметрам (в том числе числовым характеристикам по РТ-условиям образования силикатных и рудных минеральных парагенезисов [21]) свидетельствуют о формировании благороднометалльных рудообразующих систем тимского, старооскольского и кшенского типов в условиях сопряженной деятельности трех разнородных источников углеродистого и рудного вещества:

а) экзогенного (осадочно-хемогенного) при значительной биологической активности палеобассейна; б) флюидно-магматогенного в связи с многоактным разноглубинным проявлением вулкано-интрузивного магматизма с нарастающей щелочностью и флюидонасыщенностью; в) метаморфогенного с экстракцией рудного вещества из субстрата и его мобилизацией в процессе функционирования глубинных флюидно-магматогенных очаговых зон и проявления регионального метаморфизма и гидротермально-метасоматических процессов. В совокупности эти источники определяют принадлежность золото-платинометалльного оруденения тимского, старооскольского и кшенского типов к полигенному и полихронному осадочному и осадочно-флюидно-магматогенному, позднее метаморфизованному. Широкое развитие черносланцевых стратифицированных комплексов и метасоматитов в других, сходных с Тим-Ястребовской, структурно-формационных зонах, а также в пределах Михайловского и Старооскольского железорудных районов КМА и ВКМ в целом, предопределяют возможность открытия новых крупных месторождений благородных металлов.

2. КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСНОГО ЗОЛОТО- ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНОГО ОРУДЕНЕНИЯ В УГЛЕРОДИСТЫХ ТОЛЩАХ И МЕТАСОМАТИТАХ ДОКЕМБРИЙСКОГО ФУНДАМЕНТА ВКМ

На основе полученных результатов исследований ниже рассмотрены два уровня критериев прогнозирования золото-платинометалльного оруденения в

раннепротерозойских черносланцевых формациях — региональный (мелкомасштабный) и локальный (средне-крупномасштабный). Первый из них ориентирован на идентификацию и прогнозирование потенциально золото-платиноносных структур (бассейнов) углеродистого осадконакопления и присущих им углеродистых формаций. Комплекс локальных критериев прогнозирования направлен на выбор и оценку площадей развития благороднометалльносодержащих углеродистых формаций в геоблоках, характеризующихся различными геодинамическими режимами формирования СВК, с выделением в их пределах рудоперспективных районов и узлов (полей), при этом особое значение придается геоблоку КМА, в пределах которого выявлен ряд разномасштабных рудопроявлений благородных металлов.

2.1. КРИТЕРИИ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Геотектоническая позиция рудоносных черносланцевых комплексов и особенности их состава

Как отмечалось, наиболее важные в промышленном отношении концентрации благородных металлов связаны с раннепротерозойскими высокоуглеродистыми образованиями. Степень их продуктивности и масштабы определяются приуроченностью к двум различным типам линейных структур (рудоносных черносланцевых поясов): а) внутриконтинентальным рифтам, которые пространственно обычно сопряжены с позднеархейскими коматиитсодержащими зеленокаменными поясами (мегаблок КМА Сарматии); б) пассивной окраине Волго-Уралии (Воронцовский эпикратонный прогиб Хоперского мегаблока). Эти крупные структуры регионального уровня отличаются геодинамическими, палеогеографическими и палеоформационными обстановками. На конседиментационном этапе являются областями аккумуляции металлов и углеродистых осадков, а в постседиментационный период характеризуются многообразием процессов мобилизации, миграции и локализации рудообразующих элементов.

С внутриконтинентальными рифтогенными процессами связано формирование ряда подвижных поясов (Михайловского, Белгородского, Тим-Ястребовского, Вологовского). Они характеризуются полициклическостью и многостадийностью развития с резким преобладанием терригенно-осадочных (в том числе железорудных отложений курской серии) на ранних стадиях и локально возрастающей ролью вулканогенно-осадочных и

вулканических образований (оскольская серия) на поздних стадиях. Наибольшим развитием (около 50 % объема всех пород) вулканитов (пикрит-базальтовая, андезит-базальтовая, базальт-риолитовая ассоциации и их интрузивно-дайковые комагматы) отличаются Тим-Ястребовская, Вологовская, Зиновьевско-Мантуровская структуры Воронежско-Алексеевского рифта, пространственно сопряженного с раннеархейским Орловско-Тимским зеленокаменным поясом [18, 19], в которых сосредоточены основные запасы и ресурсы благородных металлов КМА (тимской, кшенский, старооскольский типы). В Белгородско-Михайловском рифте, в котором вулканиты распространены крайне ограничено (Михайловская структура) или вовсе отсутствуют (Белгородская структура) и основные концентрации Au и МПГ сосредоточены в железистых кварцитах (курсский тип; [19]) и углеродсодержащих сланцевых толщах курской серии (старооскольский тип).

В Хоперском мегаблоке происходило накопление мощных (до 10–12 км) отложений в основном турбидитового типа в объеме воронцовской серии. Эта серия наиболее полно проявилась в Воронцовском эпикратонном прогибе (протяженность около 1000 км при ширине от 80 до 320 км) и представлена флишоидной углеродисто-терригенно-сланцевой формацией. При крайне ограниченных масштабах (до 2–3 %) проявлений вулканизма с отчетливо гомодромной направленностью эта формация включает четыре литолого-стратиграфические толщи [5, 19]: а) нижнюю графитогнейсовую вулканогенно-терригенную; б) терригенную сланцево-песчаниковую; в) среднюю углеродисто-песчаниково-сланцевую с флишоидным типом переслаивания; г) верхнюю существенно терригенную (молласоидную). Характерной особенностью Воронцовской мало исследованной на благородные металлы структуры является: а) широкое развитие углеродистых и графитизированных, обычно сульфидизированных сланцев и полифациальные метаморфические их преобразования; б) высокая степень насыщения более поздними по возрасту и разнообразными по составу и формационной принадлежности интрузивно-дайковыми комплексами, сопровождающимися рядом месторождений и многочисленными разномасштабными проявлениями сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд и комплексной платиноидно-золоторудной и палладий-золоторудно-серебряной минерализацией (воронцовский и троцкий типы; [13, 17–19]).

Геотектоническое строение рудоносных черносланцевых поясов

Геотектоническое строение рудоносных структур в пределах Воронцовского эпикратонного прогиба Хоперского мегаблока и рифтогенных по своей природе подвижных поясов КМА (Михайловский, Белгородский, Тим-Ястребовский, Вологовский, Рыльский и др.) обусловлено коллизионными процессами. Эти складчатые и складчатоглыбовые структуры включают не только сами разноранговые по масштабам складки, но и широко распространенные разрывы (надвиги, взбросы, взбросо-сдвиги, зоны интенсивного расслаивания), имеющие коллизионный генезис. Коллизия привела к интенсивной дислоцированности и своеобразному «скупиванию» углеродистых толщ в разрезах террейна. Складки близки к изоклинальным сильно сжатым, субвертикальным или наклонены (до опрокинутых) по вектору сжатия в направлении с востока на запад вследствие надвига Хоперского мегаблока на Курский. Рудовмещающие участки сосредоточены в зонах интенсивных пликативных дислокаций, осложненных продольными интенсивно-рассланцованными структурами позднекладчатого этапа [6, 10, 12, 15, 19, 21].

Метаморфизм

Коллизионный этап сопровождается термодинамическими преобразованиями пород, которые носят региональную метаморфическую зональность от амфиболитовой (обычно в центрах максимального стресса) до зеленосланцевой в удаленных от центра участках. Метаморфические процессы вызывают мобилизацию благородных металлов в зонах высоких температур и давлений и перераспределение и концентрирование их в участках низких температур и давлений высокоуглеродистой рудообразующей системы. Для концентрации оруденения наиболее благоприятна зеленосланцевая фация, включающая хлорит-серицитовую, хлорит-серицит-альбитовую, биотит-стильпномелановую и хлорит-биотитовую субфации (зоны).

2.2. КРИТЕРИИ ЛОКАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Комплекс критериев локального прогнозирования включает набор характерных признаков и факторов, отражающих процессы рудной мобилизации, миграции и локализации, и ориентирован на оценку площадей развития углеродистых стратифицированных образований и их метасоматитов на конкретные типы золото-платинометалльного оруденения прежде всего в пределах мегаблока КМА. В этом

комплексе в качестве определяющих выступают особенности состава рудоносных и рудовмещающих формаций и их метаморфических преобразований, характер рудоконтролирующих структур, минералого-геохимические и рудно-геохимические параметры конкретного типа оруденения.

Как отмечалось, в пределах рифтогенных структур КМА выделено три полигенных и полихронных по своей природе типа золото-платиносодержащего оруденения — тимской, кшенский и старооскольский [13, 17, 19]. Приводимый ниже комплекс локальных критериев основан на типовом наборе предпосылок, признаков и факторов процессов рудообразования для каждого из геолого-генетических типов и предназначен для идентификации объектов прогнозирования и оценки их перспектив.

Тимской тип

Прогноз этого золото-платинометалльного типа оруденения базируется на комплексе критериев, включая [21]: а) формационную принадлежность рудовмещающей породной ассоциации, наиболее полно отражающей геодинамический режим многоэтапного (от седиментационного до постседиментационного) становления всей полихронной и полигенной по своей природе рудообразующей системы; б) положение рудовмещающих пород в структуре и стратиграфическом разрезе; в) особенности их литологического состава и условия метаморфических и метасоматических преобразований; г) минералого-геохимические признаки золото-платинометалльного оруденения (формы нахождения благородных металлов, ведущие типы рудообразующих минеральных парагенезисов, ассоциация сопутствующих индикаторных элементов, изотопные соотношения S, C и др.).

Подобный системный анализ позволяет выделить следующий комплекс граничных признаков для локального прогнозирования золото-платинометалльного оруденения тимского типа [19, 21].

1. Строгая приуроченность к длительно развивающимся внутриконтинентальным, рифтогенным по своей природе структурам (типа Тим-Ястребовской), значительный по мощности (свыше 2000 м) СВК которых (в объеме оскольской серии с возрастным рубежом формирования 2300–2100 млн лет; [11, 19]) включает ряд в разной мере обогащенных углеродистым веществом осадочных и вулканогенно-осадочных горизонтов, а также вулканических и плутонических (интрузивно-дайкиных) образований различного состава (от ультраосновного и основного субщелочного до среднего и кислого),

возраста и формационной принадлежности [7, 14, 15, 19].

2. Высокая степень интенсивности проявления в подобных рудоносных структурах складчатости и взбросо-надвиговых перемещений, сложный характер разломных нарушений различных порядков с образованием зон объемного катаклаза, выступающих в качестве контролирующих элементов рудообразующей системы тимского типа.

3. Локализация наиболее важных в промышленном отношении концентраций МПГ и Au в нижнетимской углеродисто-терригенной подсвите тимской свиты, характеризующейся: а) ритмичным строением и исключительно широким участием в ее сложении (30–70 % до 80 % в низах разреза) высокоуглеродистых (Сорг. > 10 %; [10, 19]) сланцев, в различной степени (от 5–10 % до 40 % и более) обогащенных сульфидами; б) отчетливой корреляцией количества сульфидов с содержанием углеродистого вещества; в) низкоградиентным типом метаморфизма в условиях эпидот-амфиболитовой и в большей мере зеленосланцевой фаций, способствующих перераспределению и накоплению рудного вещества и широкому развитию разнообразных по составу метасоматитов.

4. Многоуровневый характер размещения благороднометалльного оруденения, которое локализуется в ряде (от трех до семи) неоднократно повторяющихся в разрезе разномасштабных (мощность от первых метров до 15–30 м) слоев и горизонтов по всей площади развития черносланцевых отложений нижнетимской подсвиты и отличаются: а) отчетливой корреляционной связью МПГ и Au с серой, углеродом и рядом петрогенных (Al_2O_3 , K_2O и др.) и малых (Ni, Cu, Co, Pb, Zn, Ag, Cr, Ti, V, Se, As, Sb, Cd, Te, Bi, Ba, B) элементов; б) преимущественно базальтоидным типом распределения МПГ ($Pd \geq Pt > Rh > Ru > Ir \geq Os$); в) 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 (рудовмещающих) породах [15, 19].

5. Сложный многокомпонентный, полиминеральный состав руд, характеризующийся [19, 21]: а) ведущей (90–95 об. %) ролью в рудном парагенезисе сульфидов при крайне неравномерном их распределении и текстурно-структурной неоднородности (послойная мелкозернистая вкрапленность, прожилковые, пятнистые, линзовидные и гнездовые обособления); б) резким преобладанием среди сульфидов пирита и пирротина (до 80–95 % объема

рудного вещества), которые вследствие очевидной принадлежности к различным стадиям длительно формирующейся рудообразующей системы, характеризуются значительным кристалломорфологическим разнообразием и существенными вариациями содержаний главных (Fe, S) и сопутствующих (Ni, Co, Cu), а также некоторых благородных элементов (Pt, Pd, Au), концентрация которых увеличивается по мере обогащения их легким изотопом серы; в) постоянным присутствием халькопирита, сфалерита, пентландита, марказита, арсенопирита, молибденита, ульманита, блеклой руды, виоларита, галенита, гетита, макинавита, буланжерита, клаусталита, теллуrowисмутита, станнина, рутила, циркона, перовскита, монацита, шеелита, бадделиита, апатита, барита; г) многообразием форм распределения благородных металлов в виде самородных элементов (Au, Pd, Pt, Ag, Os), металлических твердых растворов и интерметаллических соединений (палладий платиносодержащий, платина железосодержащая, золото-платина-палладий, осмистый иридий, платиридосмин, рутениридосмин, золото ртуть-теллур-серебросодержащее, амальгама золота-серебра, аркверит, станнид палладия, платина-палладий-золото-серебро-олово); сульфидов, теллуридов, антимонидов, селенидов и сульфосолей МПГ, Au и Ag (гёссит, спериллит, ирарсит, селенид палладия и платины, тесибипалладинит, антимонид палладия, золота и др.), примесей в основных платино-палладий-золотосодержащих рудообразующих сульфидах (пирротине, пирите, халькопирите, сфалерите) и других спорадически развитых минералах (арсенопирите, пентландите, галените, молибдените, теллуrowисмутите, ульманите, алабандине, герсдорфите, кобальтине), которые в совокупности с нахождением благородных металлов в углеродистом веществе определяют необходимость разработки принципиально новых экологически безопасных технологий извлечения всего комплекса металлов. В качестве надежного минералогического признака при поисках благороднометалльного оруденения тимского типа выступает тесная ассоциация минералов платиновой группы с различными по составу титанатами Ba, Ca, Sr, Nb, Zr и Bi [8, 19, 21].

Старооскольский тип

С тимским, стратиформным по своей природе типом благороднометалльного оруденения, ассоциирующего с углеродистыми сланцами оскольской серии, значительную аналогию обнаруживает платиноидно-золоторудный старооскольский тип, входящий в состав нижезалегающей курской серии всех известных месторождений КМА [20, 21].

В этой серии, принадлежащей к железисто-кремнисто-сланцевой формации, благороднометалльное оруденение размещается на трех уровнях. Два из них приурочены к верхней и промежуточной (внутрирудной) углеродсодержащим сланцевым подсвитам коробковской продуктивной (железородной) свиты. Третий уровень золото-платинометалльного оруденения располагается в зоне контакта углеродистых сланцев верхнестойленской свиты с перекрывающими ее безрудными и малорудными (железистыми) кварцитами коробковской свиты (рис. 3).

Анализ геолого-тектонического положения, структурно-вещественных, рудно-формационных, геохимических и геолого-генетических признаков позволяет выделить следующий комплекс граничных критериев локального прогноза старооскольского типа золото-платинометалльного оруденения [20, 21]:

1) тесная пространственно-генетическая связь рудоносных сланцев с железистыми кварцитами курской серии в составе единой железисто-кремнисто-сланцевой формации;

2) многоуровневый (стратифицированный) характер размещения оруденения, определяющий в совокупности с другими структурно-вещественными и геолого-генетическими признаками его принадлежность к стратиформному типу с концентрацией благородных металлов в наиболее обогащенных углеродистым веществом и сульфидами зонах, играющих роль своеобразных геохимических барьеров;

3) специфический состав рудовмещающих сланцевых толщ, характеризующихся: а) повышенными содержаниями K_2O , S, Al_2O_3 , Сорг. (до 2 %), величиной отношения FeO/Fe_2O_3 (2–4) и комплексом сопутствующих МПГ и Au индикаторных элементов (Cu, Ni, Co, Cr, Ti, V, Mn, Ba, B, F, P, Se, Bi, As и др.); б) развитие магнезиально-щелочного метасоматоза с образованием разнородных по составу зон и жил;

4) локализация благороднометаллоносодержащей рудной минерализации в ядерных частях складок и зонах интенсивных дислокаций, кливажа и объемного катаклаза складчато-блоковых структур с пространственно-временной сопряженностью зон сжатия и участков повышенного давления, разноранговых разломов, обеспечивающих поступление глубинных флюидов и растворов, привносящих Au и МПГ;

5) подобный тимскому типу оруденения многокомпонентный, полиминеральный состав рудной

минерализации при ведущей роли сульфидов, наличие собственных минеральных фаз Au и МПГ в виде самородных соединений, интерметаллидов, сплавов и примесных форм в сульфидах и их аналогах.

От тимского старооскольский тип золото-платинометалльного оруденения отличается: а) пониженным содержанием углеродистого вещества, ограниченным развитием карбонатов в сланцах, характеризующихся тонкозернистым (пелитовым) обликом, присутствием в их составе Mg-Fe-слюд, щелочных пироксенов и амфиболов; б) неравномерным распределением сульфидов при широком развитии их в виде гнезд, линз, прожилок.

Кшенский тип

Комплекс типовых признаков для идентификации объектов прогнозирования и оценки перспектив кшенского типа благороднометалльного оруденения приведен в табл. 3. Обобщенные в этой таблице данные об условиях размещения и рудно-формационным параметрам показывают, что типовыми структурно-вещественными, рудно-геохимическими и геолого-генетическими граничными признаками и критериями локального прогнозирования золото-платиносодержащего оруденения кшенского типа являются [12, 15, 19, 21]: 1) отчетливая приуроченность рудопроявлений к субсогласным с общим планом рифтогенно-коллизийных структур КМА долгоживущим линейным зонам рассланцованных, катаклазированных, милонитизированных и в разной мере сульфидизированных, амфиболитизированных, биотитизированных, турмалинитизированных преимущественно основных и ультраосновных нормальной и повышенной щелочности вулканитов, их ортосланцев и углеродистых сланцев, метапесчаников; 2) исключительно высокая степень насыщенности рудоносных зон дайками различного возраста, состава и формационно-генетической принадлежности; 3) сложное сочетание реликтовых и многочисленных наложенных минеральных парагенезисов рудовмещающих пород, отражающих многоэтапность и полифазность метаморфических и гидротермально-метасоматических процессов формирования рудообразующей системы; 4) отчетливая пространственно-генетическая связь золото-платиносодержащих руд с зонами повышенной сульфидной минерализации, определяющая принадлежность оруденения к сульфидно-вкрапленному типу с ведущей ролью пиритового, пирит-пирротинового и пирит-арсенопиритового минеральных парагенезисов при крайне ограниченном проявлении жильного сульфидно-кварцевого типа.

Геологические условия локализации и основные рудно-формационные параметры кшенского типа оруденения

Тектонические	Протерозойский внутриконтинентальный рифт. Протяженные складчато-сдвиговые пояса линейного типа, долгоживущие разломы, зоны трещиноватости, субсогласные разрывы, взбросы, надвиги, сложноскладчатое крутое залегание вмещающих пород; зоны объемного катаклаза
Магматические	Габбронориты, пироксениты, гранодиориты, граниты, дайки габбро, габбродиабазов, диоритов, диоритовых порфиров, гранит-порфиров, риолитов, граносиенит-порфиров, риодацитов, лампрофиров
Вмещающие породы	Метаэффузивы основного, ультраосновного состава, риолиты, дациты и их туфы, прослой малорудных железистых кварцитов, черных сланцев, метапесчаников
Метаморфизм и гидротермально-метасоматические преобразования	Зеленосланцевая и эпидот-амфиболитовая фации. Лиственнитизация, березитизация, окварцевание, турмалинизация
Морфология рудных тел, их параметры	Минерализованные зоны дробления, милонитизации приразломного метасоматоза протяженностью до 30 км. Мощность лентообразных прерывистых крутопадающих (60–75°) рудных тел 0,5–6,1 м
Формационная группа	Зоны сульфидной вкрапленности, редко кварцево-жильный тип
Минеральные типы	Пиритовый, пирит-пирротиновый, пирит-арсенопиритовый
Минеральная ассоциация руд и околорудных пород	Пирит, пирротин, арсенопирит, халькопирит, золото, серебро, сфалерит, висмутин, галенит, ульманит и др. Жильные: карбонаты, биотит, кварц, сфен, турмалин, полевые шпаты, рутил, биотит
Содержание МПГ (мг/т) и Au (г/т), пробность Au, формы выделения	Au от 3,2 до 20,6 г/т, среднее содержание по Кшенскому рудопроявлению — 4,84 г/т. Пробность 850–980; отдельные зерна и включения в пирите; содержание МПГ от 100 до 1800 мг/т
Генетические типы	Оруденение принадлежит к «бескварцевому» сульфидно-вкрапленному подтипу гидротермального типа

По минеральному составу (пирит, пирротин, графит, реже халькопирит, миллерит, висмутин, молибденит, ульманит, арсенопирит, пентландит, магнетит, гематит, ильменит, галенит, сфалерит, самородное золото и серебро, осмистый иридий и др.) высоким содержаниям платиноидов и золота в сульфидах и распределению малых элементов (Ni, Co, Cr, P, Ti, As, Sb, Bi, Sn, Ba и др.) сульфидно-вкрапленная минерализация обнаруживает значительные черты сходства с золото-платинометалльными рудами в углеродистых сланцах тимской свиты, а также в железистых кварцитах [19, 20, 21] и углеродистых сланцах курской серии, подчеркивая тем самым их принадлежность к единой длительно (2,5—2,0 млрд лет) развивающейся (полихронной) рудообразующей системе, полигенной по природе продуцируемых источников рудного вещества и углерода, физико-химическим параметрам минералообразующей среды и условиям концентрирования рудообразующих элементов.

Определяющим фактором в размещении кшенского типа оруденения служит исключительно четкий структурный контроль, который проявля-

ется в приуроченности их к зонам долгоживущих региональных разломов. В пределах таких структур рудные тела размещаются как в секущих, так и чаще в более протяженных субсогласных системах сбросов, зонах позднего расланцевания, бластомилонитизации и локализируются в породах, обладающих благоприятным химическим составом, повышенной хрупкостью и проницаемостью, сопровождаясь обычно разномасштабными околорудными изменениями с образованием разнообразных по составу метасоматитов (кварц-полевошпатовые, альбит-кварц-актинолитовые, карбонат-эпидот-кварцевые и др.) [1, 6, 19, 21] и многочисленных кварцевых, карбонат-кварцевых, турмалин-кварцевых жил.

Обобщенная схема технологии прогнозирования и поисков золото-платиносодержащих руд тимского, старооскольского и кшенского типов приведена в табл. 4. Следует подчеркнуть, что предложенная модель технологии прогноза в полной мере применима для золото-платиносодержащих черносланцевых стратифицированных комплексов и метасоматитов Воронцовского эпикратонного прогиба Хо-

перского мегаблока, в котором по ряду структурно-вещественных и рудно-формационных критериев следует ожидать открытия новых крупнообъемных источников благородных металлов [19].

Таблица 4

Технология прогнозирования и поисков разнотипных золото-платиносодержащих руд в пределах мегаблока КМА

І этап Прогноз рудоносных площадей	ІІ этап Поисковые работы	ІІІ этап Поисково-оценочные работы
1. Геолого-минералого-геохимическое картирование 1 : 100 000—1 : 25 000	1. Минералого-геохимическая съемка черносланцевых толщ 1 : 50 000—1 : 10 000	1. Геолого-минералогическое картирование 1 : 5000—1 : 1000
2. Картирование черносланцевых толщ и метасоматитов и возможной продуктивной минерализации 1 : 25 000—1 : 2000	2. Минералогическое и петрографическое картирование перспективных площадей 1 : 50 000—1 : 5000	2. Бурение по профилям 200—500 м скважин до 1 км
3. Специальные минералого-геохимические исследования сульфидов с определением элементов-спутников Ag, Bi, Te, Se, Zn, Cu, Ni, Co, As, Sb, Ba, Hg, Ti, Cr, Mn, Be, Mo и др.	3. Высокоточная магнитометрия, ЕП, ВП, КС, радиометрия	3. Скважинная петрофизика, геохимия и геофизика (ВП, МЭК, МЭП, КСПК)
	4. Единичные поисково-структурные скважины 300—600 м с детальной скважинной геофизикой, геохимией, петрофизикой, термобарометрией	4. Опробование руд в составе черных сланцев, метасоматитов, зон сульфидизации на Au, Ag, МПГ, Cu, Bi, Te, Se
↓	↓	↓
Рудные зоны, узлы и поля с оценкой по P_3	Рудоносные участки, рудопроявления, потенциально промышленные объекты с оценкой по P_2	Рудные тела с оценкой по P_1 и частично C_2 ТЭЭС и ТЭО дальнейшего изучения и освоения

Завершающей стадией прогнозирования является разноранговая количественная оценка различных по геолого-формационной принадлежности ведущих промышленно-генетических типов золото-платинометалльного оруденения в пределах перспективных районов.

ВЫВОДЫ

1. В Центральной России в пределах ВКМ золото-платинометалльное оруденение в стратифицированных углеродистых образованиях выявлено в составе всех структурно-вещественных комплексов раннего докембрия, сформировавшихся в условиях: а) раннеархейской нуклеократонизации (обоянский тип); б) позднеархейского рифтогенеза и коллизии (авильский тип); в) раннепротерозойского рифтогенеза, спрединга, субдукции и коллизии (старооскольский, тимской, кшенский, воронцовский, троцкий типы); г) тафрогенеза (воронежский тип). Наиболее высокие концентрации благородных металлов связаны с высокоуглеродистыми терригенно-осадочными и вулканогенно-осадочными породными ассоциациями оскольской и курской серий КМА.

2. Выделены граничные признаки и критерии прогнозирования разнотипного (тимской, кшенский, старооскольский) золото-платинометалльного оруденения двух уровней: а) региональный и б) локальный. Для каждого геолого-генетического типа приведены основные рудно-формационные параметры (геолого-тектонические, структурно-вещественные, метаморфические и гидротермально-метасоматические, рудолокализирующие, рудно-минералого-геохимические и др.), определяющие выбор и оценку площадей развития углеродосодержащих толщ и их метасоматитов на конкретные типы золото-платинометалльного оруденения.

3. Предложена модель технологии прогнозирования и поисков золото-платинометалльного оруденения, включающая три этапа: а) прогноз рудоносных площадей; б) поисковые; в) поисково-оце-

ночные работы, каждый из которых включает ряд стадий со специфическим набором геологоразведочных методов.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-05-00158) и Гранта Президента Российской Федерации «Ведущие научные школы» (НШ-2211.2008.5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Буряк В. А. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ / В. А. Буряк, Б. К. Михайлов, Н. В. Цымбалюк // Руды и металлы. — 2002. — № 6. — С. 25–36.
2. Додин Д. А. Платинометалльные месторождения России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, Б. А. Яцкевич. — СПб.: Наука, 2000. — 755 с.
3. Додин Д. А. Металлогения платиноидов крупных регионов России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, О. И. Чередникова — М.: Геоинформмарк, 2001. — 302 с.
4. Константинов М. М. Золоторудные гиганты России и мира / М. М. Константинов, Е. М. Некрасов, А. А. Сидоров и др. — М.: Научный мир, 2000.
5. Лебедев И. П. Реконструкция первичной природы и условий прогрессивного регионального метаморфизма раннепротерозойских образований воронцовской серии: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук / И. П. Лебедев. — Воронеж, 1977. — 20 с.
6. Мяснянкин В. И. Новый тип золотого оруденения в протерозойских толщах Тим-Ястребовской структуры / В. И. Мяснянкин, Н. М. Чернышов // Отеч. геология, 1992. — № 12. — С. 150–154.
7. Платина России. Новые нетрадиционные типы платиносодержащих месторождений. Результаты и направления работ по программе «Платина России» // Сб. науч. трудов. — Т. VI. — М.: Геоинформмарк, 2005. — 320 с.
8. Рудашевский Н. С. Минералы платиновой группы из черных сланцев КМА / Н. С. Рудашевский, В. В. Кнауф, Н. М. Чернышов // Докл. РАН. — 1995. — Т. 334, № 1. — С. 91–95.
9. Савицкий А. В. Платиноносность докембрийских черносланцевых толщ Карелии / А. В. Савицкий, В. К. Титов, Е. Н. Афанасьева и др. // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. — М.: Геоинформмарк, 1994. — С. 55–65.
10. Созинов Н. А. Металлоносные черные сланцы Курской магнитной аномалии / Н. А. Созинов, Н. Н. Чистякова, В. А. Казанцев. — М.: Наука, 1988. — 149 с.
11. Холин В. М. Геология, геодинамика и металлогения раннепротерозойских структур КМА: автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук / В. М. Холин. — Воронеж, 2001. — 24 с.
12. Чернышов Н. М. О золотоносности раннедокембрийских зеленокаменных структур КМА / Н. М. Чернышов, В. И. Мяснянкин // Геология руд. месторождений. — 1992. — № 2. — С. 19–31.
13. Чернышов Н. М. Формационно-генетические типы платинометалльных проявлений Воронежского кристаллического массива / Н. М. Чернышов // Платина России. Пробл. развития МСБ платиновых металлов. — М., 1994. — С. 85–103.
14. Чернышов Н. М. Новый тип платинометалльного оруденения Воронежской провинции: платиносные высокоуглеродистые стратифицированные комплексы / Н. М. Чернышов, Т. П. Коробкина // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. — М.: Геоинформмарк. — 1995. — Т. 2, кн. 2. — С. 55–83.
15. Чернышов Н. М. Новый тип золото-платинометалльного оруденения в стратифицированных черносланцевых комплексах ВКМ (закономерности размещения, минералого-геохимические особенности и геолого-генетическая модель формирования) / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер.: Геология. — 1996. — № 1. — С. 114–132.
16. Чернышов Н. М. Формационно-генетическая типизация платинометалльного оруденения и перспективы наращивания минерально-сырьевого потенциала платиновых металлов России / Н. М. Чернышов // Вестн. Воронеж. ун-та. Сер.: геология. — 1996. — Вып. 2. — С. 75–85.
17. Чернышов Н. М. Золото-платинометалльное оруденение в докембрийских черносланцевых толщах и метасоматитах Воронежского кристаллического массива — основа создания Центрально-Российской минерально-сырьевой базы благородных металлов XXI века / Н. М. Чернышов // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке. — М.: Геоинформмарк, 1999. — Т. III, кн. 2. — С. 226–241.
18. Чернышов Н. М. Металлогения Алексеевско-Воронежской рифтогенной зоны КМА / Н. М. Чернышов, В. М. Холин, Ю. Н. Стрик // Междунар. конфер. «Рифтогенез, магматизм, металлогения докембрия. Корреляция геологических комплексов Феноскандии». — Петрозаводск, 1999. — С. 53–54.
19. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. — Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. — 448 с.
20. Чернышов Н. М. Золото-платиноносная рудовмещающая система стратиформного типа в докембрийских образованиях Михайловского рудного узла КМА / Н. М. Чернышов, Н. В. Попкова // Воронеж: Вестн. Воронежского ун-та, Сер.: Геология, 2006. — № 2. — С. 159–166.
21. Чернышов Н. М. Золото-платинометалльное оруденение черносланцевого типа Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. — Воронеж: Издат.-полиграфический центр Воронеж. гос. ун-та. — 2007. — 177 с.