

УДК 553.411'3/°9.001.18(470.324)

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ, СОСТАВ И КРИТЕРИИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПОИСКОВ ЗОЛОТО-ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНЫХ РУД ЧЕРНОСЛАНЦЕВОГО ТИПА В ПРЕДЕЛАХ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

Н.М. Чернышов, М.Н. Чернышова

*Воронежский государственный университет
394006, Воронеж, Университетская пл., 1*

E-mail: petrology@geol.vsu.ru

Поступила в редакцию 16 июня 2008 г.

Приведена систематика и структурно-вещественная характеристика благороднометалльного оруденения, ассоциирующего с разновозрастными углеродистыми толщами и метасоматитами Воронежского кристаллического массива (ВКМ). Выделены граничные признаки и критерии регионального и локального прогнозирования наиболее важных в промышленном отношении тимского, кшенского и старооскольского типов, характеризующихся многоуровневым размещением и сложным, многокомпонентным полиминеральным составом руд (свыше 60 рудных минералов, в том числе более 20 собственных минеральных фаз минералов платиновой группы (МПГ) и Au. 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-платинородного оруденения.

Ключевые слова: *Воронежский кристаллический массив, золото-платинородное оруденение, черносланцевый тип, систематика, закономерности размещения, минералогия, критерии прогнозирования.*

Основным 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 ныне особое внимание привлекает металлургическим (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 полифазные и полиформационные по своей природе высокоуглеродистые платиноносные образования в качестве глобального источника прироста ресурсов, запасов и золото-платинодобычи XXI столетия [Созинов и др., 1988; Савицкий и др., 1994; Чернышов, 1999, 2004, 2007; Додин и др., 2000, 2007; Золотов и др., 2001; Буряк и др., 2002].

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

В пределах Воронежского кристаллического массива комплексное золото-платинородное оруденение, ассоциирующее со стратифицированными высокоуглеродистыми образованиями и их метасоматитами, установлено [Чернышов, 1996, 2004, 2007] 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); г) формирования раннепротерозойских рифтогенных структур КМА с золото (Au – до 3,4 г/т)-платиноидными (МПГ – до 5,4 г/т) сульфидизированными 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 метасоматитами оскольской серии (МПГ – до 1,8–2,1 г/т,

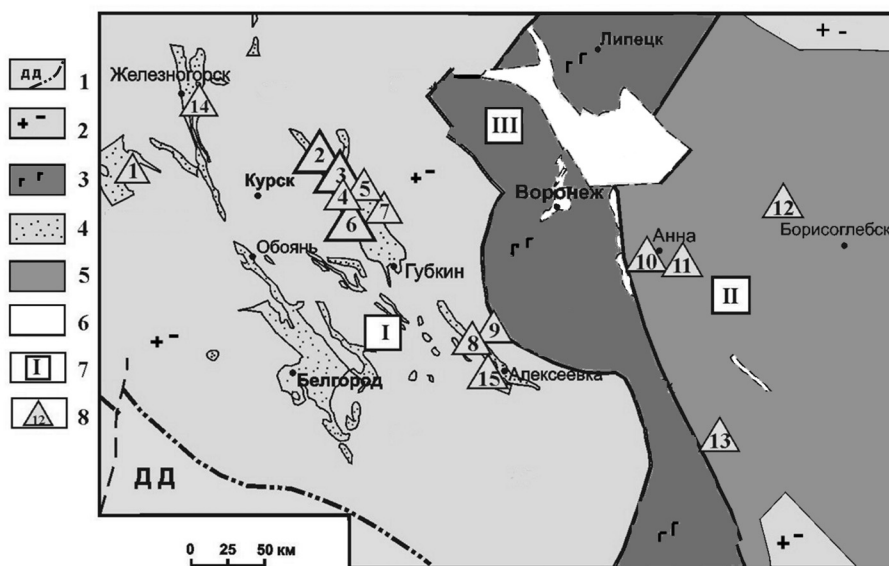


Рис. 1. Схема размещения золото-платиноносных рудопоявлений и потенциальных рудоносных объектов в черносланцевых толщах и их метасоматитах Воронежского кристаллического массива (ВКМ).

1 – Границы ВКМ и Днепровско-Донецкого авлакогена (ДД); 2 – Структурно-вещественные комплексы (СВК) архейского основания; 3 – СВК Лосевской шовной зоны; 4–6 – раннекарельские вулканогенно-терригенные комплексы: 4 – этап рифтогенеза, 5 – эпикратонного прогибания пассивной континентальной окраины, 6 – раннеплатформенного этапа; 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 – Луговой; 6 – Погоженский; 7 – Кшенский; 8 – Волотовский; 9 – Вост. Волотовский; 10 – Рябиновско-Большемартыновский; 11 – Анненский; 12 – Троицкий; 13 – Сухой Яр; 14 – Железногорский; 15 – Старооскольский).

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

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, кшенский типы (табл. 1)). Пространственно они сопряжены с позднеархейскими зеленокаменными поясами. Характерными особенностями золото-платиноносных структурно-формационных зон являются [Чернышов, 2004, 2007]: а) полицикличность и многостадийность развития с резким преобладанием терригенно-осадочных (в том числе мощных железорудных) отложений на ранних стадиях формирования и возрастающей ролью углеродистых вулканогенно-осадочных и вулканических образований (оскольская серия) – на поздних; 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) состава 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 фации, способствующий перераспределению и накоплению рудного вещества и широкому развитию разнообразных по составу метасоматитов, сопровождающихся комплексным золото-платинометалльным оруденением тимского, кшенского и старооскольского типов, образующих, по существу, единую длительно формирующуюся черносланцевую рудную формацию.

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 [Чернышов, 1996, 2004, 2007]: а) локализацией в нижней углеродистой терригенно-

Таблица 1. 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	Установлен- ные		Прогнозируе- мые		
			Круп- ные	Сред- ние и мелкие	Круп- ные	Сред- ние и мелкие	
Раннеплатформенный этап							
Рифты и реактиви- зированные разло- мы внутриплитного развития	Трапповая (троктолит-габбро-долери- товые дифференцированные плуто- ны смородинского и новогольского комплексов)	3		+		+	
Тафрогенный этап							
Реактивизирован- ные разломы, на- ложенные прогибы аллохтонного типа в зонах сочлене- ния разнотипных структур	Кольцевые габбро-норит- кварцмонзонит-гранитные плутоны (ольховский комплекс)	Малосульфидный платиноме- талльный					+
	Габбро-верлитовая (шукавский ком- плекс)	Сульфидный платиноидно- медно-никелевый		+			+
	Углеродистая вулканогенно- осадочная, конгломераты зон несо- гласия (воронежская свита)	Платиноидно-золоторудный (воронежский)					+
Этап рифтогенеза, спрединга и автономного развития континентов, субдукции и коллизии							
Курский мегаблок	Высокоуглеродистые вулканогенно- осадочные сланцы и их метасомати- ты (оскольская серия)	2. Платиноидно-золоторудный (киенский) 1. Золото-платино-металльный (тимской)	+	+	+	+	
	Железистые кварциты (курская се- рия) и внутрирудные сланцы	Золото-платинометалльный (курский и старооскольский)	+	+	+	+	
	Конгломераты зон несогласий	Золото-уран-платиносо- держащий (стойленский)		+			+
Хоперский мегаблок	Высокоуглеродистые сланцы и эру- птивные брекчии, графитизирован- ные гнейсы (воронцовская серия)	Палладиевый-золото-ртутно- серебряный (троицкий) Платиноидно-золоторудный (воронцовский)		+			+
	Ортопироксенит-норит-диоритовая (еланский комплекс)	Сульфидный платиноидно- медисто-никелевый		+	+		
	Дунит-перидотит-пироксенит-норит- габбровая (мамонский комплекс)	4. Платиносодержащий титано- магнетитовый 3. Малосульфидный платиноме- талльный		+			+
		2. Сульфидный платиноидно- медно-никелевый 1. Платиносодержащий хроми- товый		+	+		+
Энсиалический рифтогенез (поздний архей)							
Зоны рифтогенеза и коллизии («верх- ние» зеленокамен- ные пояса)	Осадочные и вулканогенно- осадочные с колчеданным оруденени- ем (александровская свита)	Колчеданный золото- палладийсодержащий (авильский)		+			+
	Коматиит-базальтовая и дунит- перидотитовая (михайловская серия и железногорский комплекс)	Сульфидный платиносодержа- щий медисто-никелевый		+			+
Этап формирования раннеархейской протокоры							
Ареальные вулка- но-плутонические (нуклеократонные) структуры («ниж- ние» зеленокамен- ные пояса)	Углеродистая (графитизированная) вулканогенно-осадочная	Платиносодержащие графити- зированные гнейсы (обоянский)		+			+
	Перидотит-пироксенит-габброно- рит-анортозитовая (бесединский комплекс)	Сульфидный платиносодержа- щий медно-никелевый		+			+

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

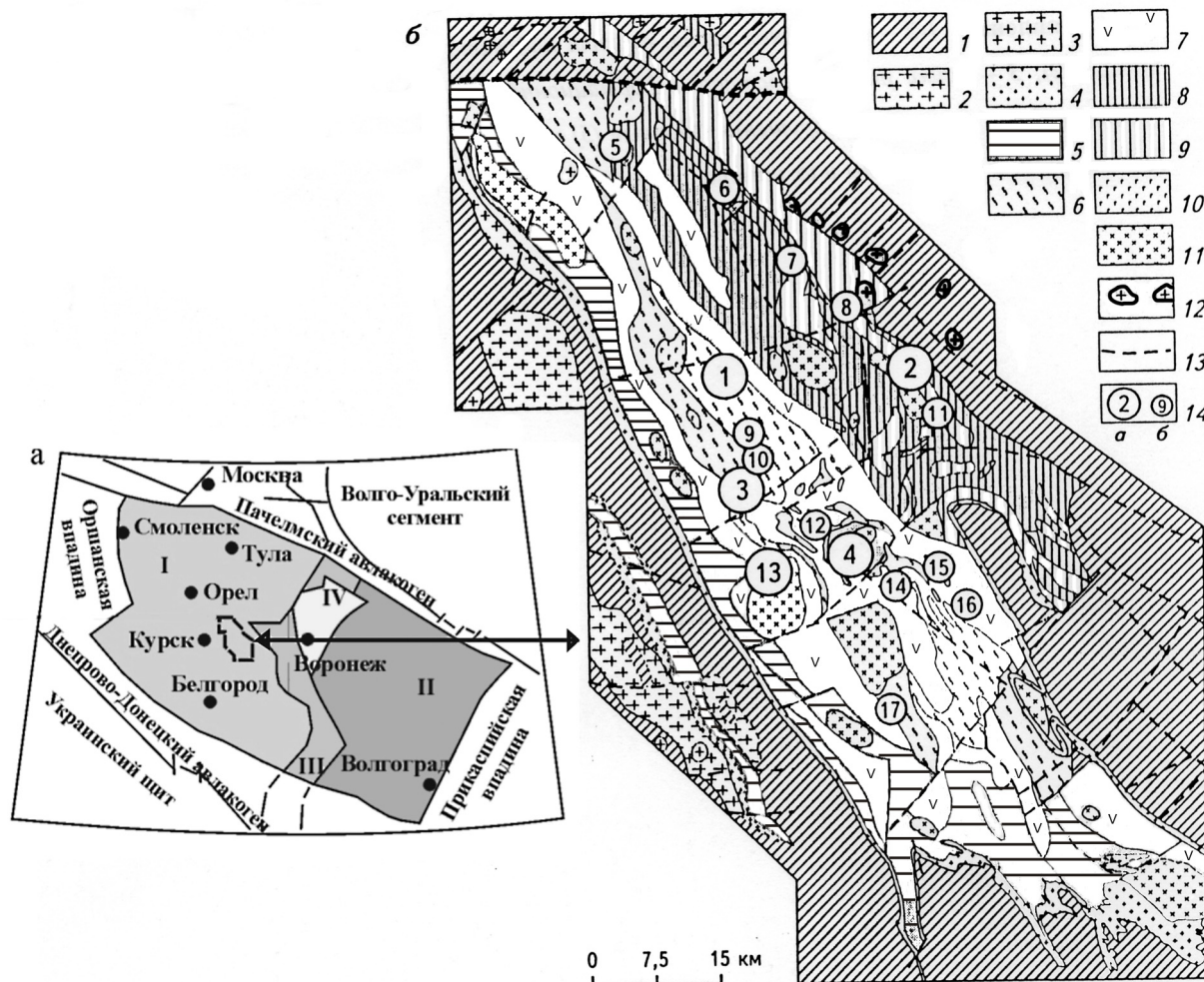


Рис. 2. Схематическая геологическая карта Тим-Ястребовской золото-платиноносной структуры (б), ее местоположение на ВКМ (а).

а: I – мегаблок КМА, II – Хоперский мегаблок, III – Лосевская шовная зона, IV – Ольховско-Шукарская грабен-синклинали. 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: 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 – Рогозское, 12 – Южно-Погоженское, 13 – Роговское, 14 – Зареченское, 15 – Петровское, 16 – Безленкинское, 17 – Крутоверховское.

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 C, S и рядом петрогенных и малых (Ni, Cu, Co, Cr, Zn, Ti, V, P и др.) элементов, 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 многократно превышают содержания в исходных (рудовмещающих) породах; г) наличием собственных минеральных фаз Au и МПГ и значительной обогащенностью этими металлами сульфидов и их аналогов.

В качестве типовых структурно-вещественных и рудно-формационных признаков кшенского типа золото-платиносодержащего оруденения, выступа-

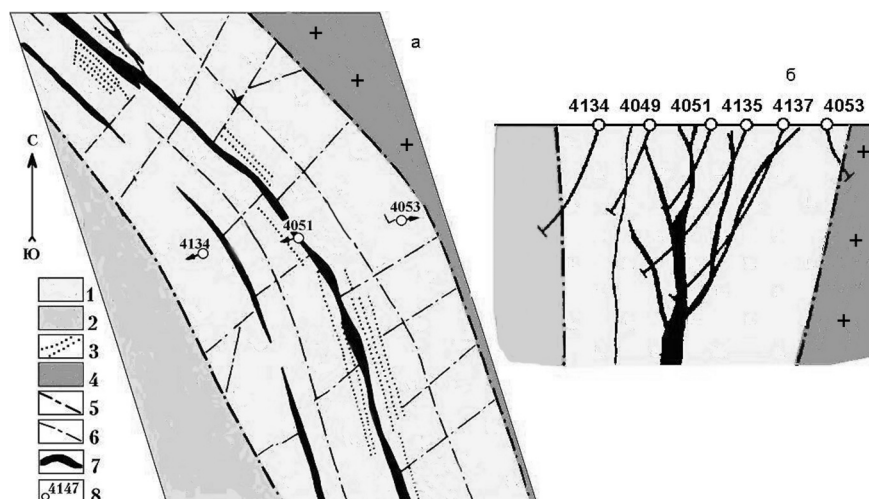


Рис. 3. Схема геологического строения (а) и геологический разрез (б) Кшенского рудопоявления.

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

ют [Чернышов, 2004, 2007]: 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 расщепленных, 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. 3); б) высокая степень насыщенности рудоносной зоны интрузивами и дайками различного возраста, состава и формационно-генетической принадлежности [Чернышова, Молотков, 2006]; в) сложные сочетания реликтовых и многочисленных наложенных минеральных парагенезов рудовмещающих пород, связанных с лиственитизацией, березитизацией, турмалинизацией, биотитизацией, окварцеванием, развитием кварц-полевошпатовых и других разновидностей метасоматитов, отражающих многоэтапность и полифациальность метаморфических и гидротермально-метасоматических процессов формирования золото-платиносодержащей рудообразующей системы; г) сложное строение рудных тел и их вероятное многоярусное размещение, особенно отчетливо проявляющееся, благодаря геохимическим ореолам золота (рис. 4); д) 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; д) резкое преобладание Au (230–6500 мг/т, иногда до 20 100 мг/т) над Pt (60–680 мг/т, в редких случаях – до 18 000 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 (Калгурли в Австралии, Гейта в Танзании, Вендерер в Южной Родезии [Чернышов, 2004]).

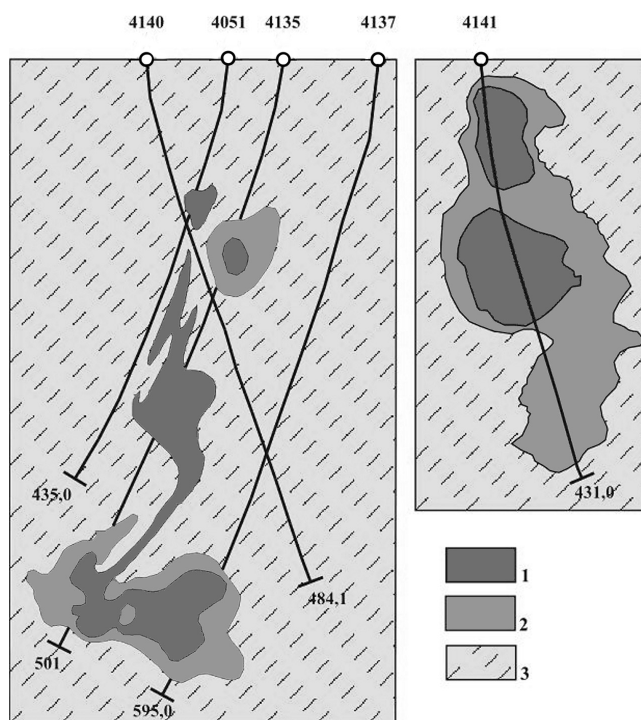


Рис. 4. Морфология комплексного геохимического ореола золота по скважинам 4051, 4135, 4137 и 4141 Кшенского рудопоявления.

1 – контур объекта с повышенным (>1 г/т) содержанием золота, 2 – контур объекта с бедным содержанием золота, 3 – вмещающие породы (по данным Г.Ф. Рожковой и Э.Э. Асадулиной; ГГП «Центргеология», 1991).

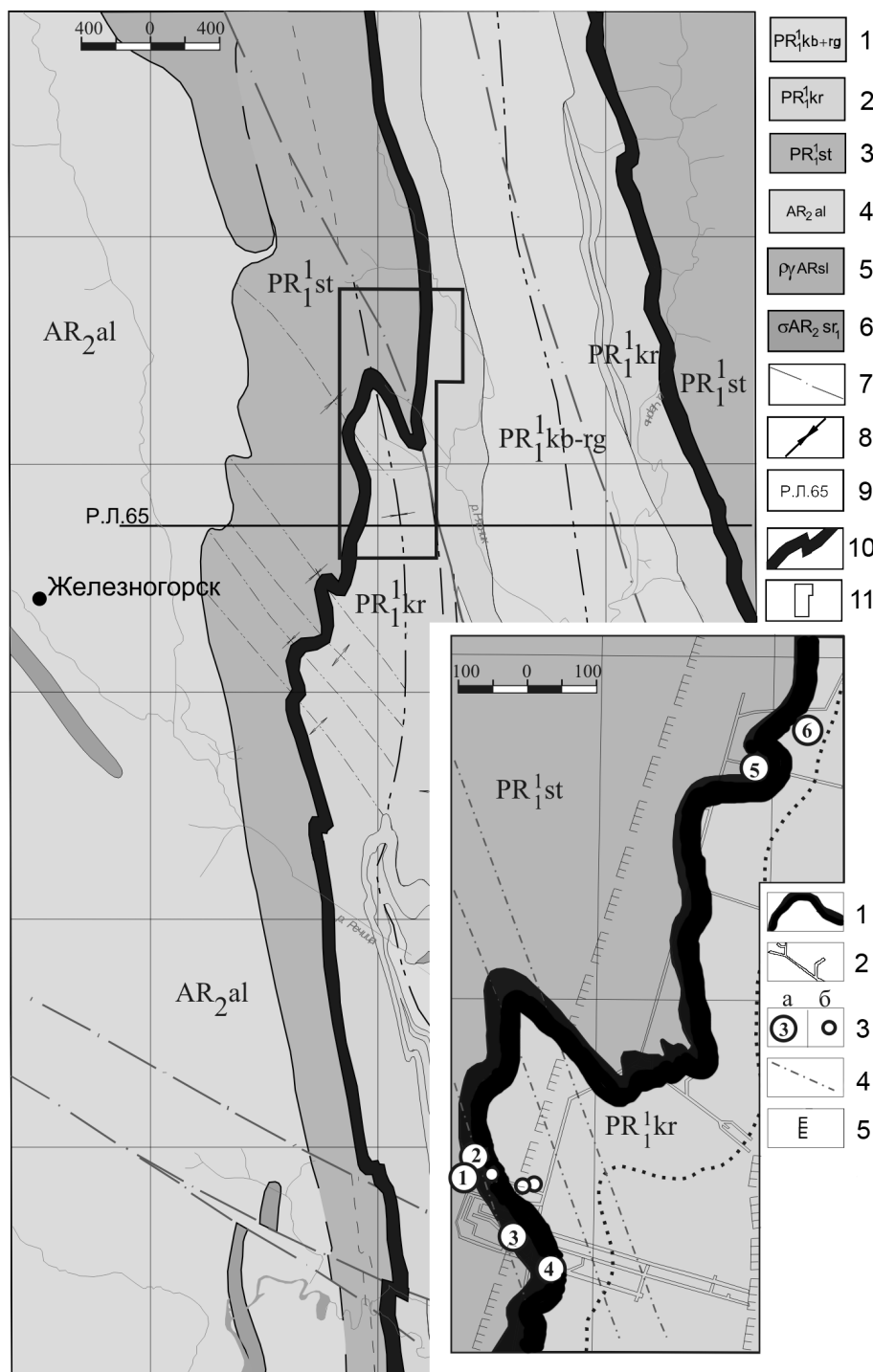


Рис. 5. Положение золото-платиноносной зоны стратиформного типа Михайловского рудного узла и схематический план западного фланга Михайловского месторождения с результатами опробования горных выработок на благороднометалльное оруденение.

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: 1 – геологические границы карбонатно-магнетитовых кварцитов; 2 – подземные горные выработки; 3 – благороднометалльные проявления (г/т): а) 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) – Au ≥ 0,5 г/т; 4 – разрывные нарушения; 5 – контуры карьера.

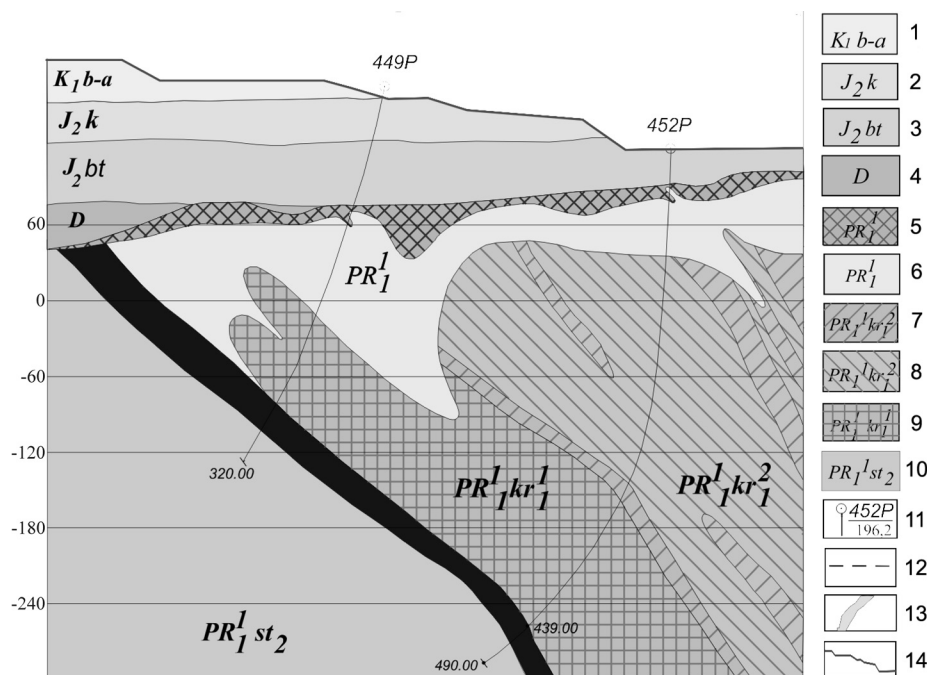


Рис. 6. Положение золото-платиноносной рудовмещающей зоны стратиформного типа в разрезе Р-65 (западная часть) Михайловского месторождения.

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

Стратиформный платиноидно-золоторудный **старооскольский тип** оруденения, имеющий широкое развитие в пределах раннепротерозойских железорудных месторождений [Чернышов, 2004, 2007], характеризуется приуроченностью к внутрирудным углеродсодержащим сульфидизированным сланцам коробковской свиты курской серии и повышенными содержаниями МПГ (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, перевод которых в макрофазы по специальной методике и последующем разделением на фракции позволяет значительно повысить концентрацию благородных металлов. Так, 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. 5, 6), 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), 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 тимско-го, старооскольского и кшенского типов характеризуется сложным многокомпонентным, полиминеральным составом, насчитывая 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 [Рудшевский и др., 1995; Чернышов, 1996, 2004, 2007]: 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 ртути-теллури-серебросодержащее, амальгама золота-серебра,

Таблица 2. Рудные минералы золото-платинометалльного оруденения тимского и кшенского типов

Самородные металлы		Молибденит, в том числе Re-Pd-Au-содержащий	MoS ₂
Золото	Au	Киноварь	HgS
Палладий	Pd	Дигенит	Cu ₂₋₃ S
Платина	Pt	Сульфоарсениды, теллуриды, антимониды, селениды, сульфосоли	
Осмий	Os	Сперриллит	PtAs ₂
Медь	Cu	Ирарсит	(Ir, Ru, Rh, Pt) AsS
Серебро	Ag	Арсенопирит	(Fe _{0,9} Ni _{0,1})AsS
Металлические твердые растворы и интерметаллические соединения		Алтаит	(Pb _{0,95} Fe _{0,13}) _{1,08} Te _{0,92}
Палладий платиносо-державший	Pd _{0,94} Pt _{0,06}	Гессит	(Ag _{1,94} Cu _{0,04}) _{1,98} Te _{1,02}
Платина железосодержавшая	Pt _{0,96} Fe _{0,04}	Ульманит	(Ni _{0,87} Co _{0,07} Fe _{0,07} Cu _{0,01}) _{1,02} Sb _{1,01} S _{0,97}
Золото-платина-палладий	Pd _{0,86} Pt _{0,08} Au _{0,04} Fe _{0,02}	Теллуrowисмутит	(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}
Осмистый иридий (не-вяанскит?)	(Ir,Os)	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}
Платирийдосмин	(Os, Ir, Pt)	Клаусталит	(Pb _{0,98} Cu _{0,02}) _{1,0} (Se _{0,78} S _{0,27}) _{1,0}
Рутенирийдосмин	(Os, Ir, Ru)	Цинкосодержавший станнин	Cu _{1,95} (Fe _{0,97} Zn _{0,11}) _{1,08} Sn _{1,02} S _{3,95}
Золото ртуть-теллу-серебросодержавшее	Au _{0,53} Ag _{0,29} Te _{0,07} Hg _{0,02}	Станнин	Cu _{1,98} (Fe _{1,08} Ni _{0,01}) _{1,09} Sn _{1,00} S _{3,94}
Амальгама золота-серебра	Au _{6,95} Ag _{6,07} Hg _{3,14}	Селенид палладия и платины (неназванный минерал)	(Pd _{2,39} Pt _{0,53} Fe _{0,06}) _{2,98} Se _{2,02}
Аркверит	(Ag,Hg,Pt)	Тетраэдрит	Cu ₁₂ Sb ₄ S ₁₃
Станнид палладия (не-названный минерал)	PdSn ₂	Теллуrowантимонид палладия (тестибио-палладинит (?))	(Pd _{0,88} Fe _{0,10} Ni _{0,08}) _{1,06} (Te _{1,01} Sb _{0,89} Bi _{0,04}) _{1,94}
Платина-палладий-золото-серебро-олово	(Pt,Pd,Au,Ag,Sn,Zn)	Оксиды, вольфраматы, молибдаты, фосфаты и др.	
Сульфиды		Ильменит	FeTiO ₃
Пирит	FeS ₂	Магнетит	Fe ₃ O ₄
Ni-Cu-пирит	(Fe,Cu,Ni)S ₂	Куприт	Cu ₂ O
Ni-Co-пирит	(Fe,Ni,Co)S ₂	Рутит	TiO ₂
Макинавит	(Fe _{7,86} Ni _{0,89} Co _{0,04} Cu _{0,13} Zn _{0,02}) _{8,94} S _{8,06}	Касситерит(?)	SnO ₂
Пирротин	Fe _{1-x} S	Шеелит	Ca(W,Mo)O ₄
Ni-пирротин	(Fe,Ni) _{1-x} S	Перовскит	(Ca,Ba,Sr)TiO ₃
Пенталандит, в том числе Ag-Pt-Pd-содержавший	(Fe,Ni) ₉ S ₈	Титанат бария	(Ba,Ca)(Ti,Zr)O ₄
Халькопирит	(CuFe)S ₂	Титанат бария и вис-мута	(Ba,Bi) _{1-x} (Ti,Nb)O ₃
Марказит	FeS ₂	Бадделиит	(Zr,Hf,Sc)O ₂
Кубанит	CuFe ₂ S ₃	Циркон	Zr[SO ₄]
Виоларит	FeNi ₂ S ₄	Барит	Ba[SO ₄]
Марганцовистый сфалерит	(Zn _{0,87} Mn _{0,13})S	Монацит	(Ce,La,Nd,Th,Y,Gd,Sm)PO ₄
Селенистый галенит	(Pb _{0,99} Fe _{0,03}) _{1,02} (S _{0,77} Se _{0,21}) _{0,98}	Апатит	Ca ₅ [PO ₄] ₃ (F,Cl)

аркверит, станнид-палладия (неназванный мине-
рал), платина-палладий-золото-серебро-олово;
в) сульфоарсенидов, теллуридов, антимонидов, се-
ленидов и сульфосолей МПП, Au и Ag – сперриллит,
ирарсит, гессит, селенид палладия и платины (не-
названный минерал), тестибиопалладинит, анти-
монид палладия и золота (неназванный минерал)
и др.; г) примесей в основных платино-палладий-
золотосодержавших рудообразующих сульфидах

(мас. %) – пирротине (Au – до 0,27, Pt – до 0,27 и
Pd – до 0,13), пирите (Pt – до 0,18, Au – до 0,17, Pd
– до 0,03), халькопирите (Pt – до 0,60, Au – до 0,16,
Pd – до 0,08), сфалерите (Pd – до 0,06) и других спо-
радически развитых сульфидах, сульфоарсенидах,
сульфоантимонидах и теллуридах – арсенопирите
(Au – до 0,32, Pt – до 0,18), пентландите (Au – 0,13,
Pt – до 0,07, Pd – до 0,04), галените (Pt – до 0,15,
Au – до 0,10), молибдените (Pd – до 0,14, Au – до

0,07), теллуrowисмутите (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 [Чернышов, 1996, 2007]) 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 вулcano-интрузивного магматизма с нарастающей щелочностью и флюидонасыщенностью; в) метаморфогенного с экстракцией рудного вещества из субстрата и его мобилизацией в процессе функционирования глубинных флюидно-магматогенных очаговых зон и проявления регионального метаморфизма и гидротермально-метасоматических процессов. В совокупности эти источники 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 отмечаются геодинамическими, палеогеографическими и палеоформационными обстановками. На консидиментационном этапе они являются областями аккумуляции металлов и углеродистых осадков, а в постсидиментационный период характеризуются многообразием процессов мобилизации, миграции и локализации рудообразующих элементов.

С внутриконтинентальными рифтогенными процессами связано формирование ряда подвижных поясов (Михайловского, Белгородского, Тим-Ястребовского, Волотовского). 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. Наибольшим развитием (около 50 % объема всех пород) вулканитов (пикрит-базальтовая, андезит-базальтовая, базальт-риолитовая ассоциации и их интрузивно-дайкиовые комагматы)

отличаются Тим-Ястребовская, Волотовская, Зиновьевско-Мантуровская структуры Воронежско-Алексеевского рифта, пространственно сопряженного с раннеархейским Орловско-Тимским зеленокаменным поясом [Созинов и др., 1988; Чернышов, 2004], в которых сосредоточены основные запасы и ресурсы благородных металлов КМА (тимской, кшенский, старооскольский типы). В Белгородско-Михайловском рифте, в котором вулканы распространены крайне ограничено (Михайловская структура) или вовсе отсутствуют (Белгородская структура) и основные концентрации **Au** и **МППГ** сосредоточены в железистых кварцитах (курский тип; [Чернышов, 2004]) 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 флишеидной углеродисто-терригенно-сланцевой формацией. 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-дайкивыми комплексами, сопровождающимися рядом месторождений и многочисленными разномасштабными проявлениями сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд и комплексной платиноидно-золоторудной и палладий-золото-ртутно-серебряной минерализацией (воронцовский и троцкий типы [Чернышова, Молотков, 2006]).

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, Волотовский, Рыльский и др.) обусловлено коллизионными процессами. Эти складчатые и складчато-глыбовые 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 сжаты, субвертикальны или наклонены (до опрокинутых) по вектору сжатия в направлении с востока на запад вследствие надвига Хоперского мегаблока на Курский. Рудовмещаю-

щие участки сосредоточены в зонах интенсивных пликативных дислокаций, осложненных продольными интенсивно рассланцованными структурами позднекладчатого этапа.

Метаморфизм. Коллизионный этап сопровождается термодинамическими преобразованиями пород, которые характеризуются региональной метаморфической зональностью 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. 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. 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: 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:

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 осколковой серии с возрастным рубежом формирования 2300–2100 млн. лет [Чернышов, 2004]) включает ряд в разной мере обогащенных углеродистым веществом осадочных и вулканогенно-осадочных горизонтов, а также вулканических и плутонических (интрузивно-дайки) образований различного состава (от ультраосновного и основного субщелочного до среднего и кислого), возраста и формационной принадлежности.

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 (от 30–70 до 80 % в низах разреза) высокоуглеродистых (Сорг. > 10 %) 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 фации, 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 отличается:

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.

5. Сложный многокомпонентный, полиминеральный состав руд, характеризующийся: 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 так же 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, ртуть-теллур-серебросодержащее золото, амальгама золота-серебра, аркверит, станнид палладия, платина-палладий-золото-серебро-олово); сульфоарсенидов, теллуридов, антимонидов, селенидов и сульфосолей МПГ, Au и Ag (гёссит, спериллит, ирарсит, селенид палладия и платины, тестибиопалладинит, 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.

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 залегающей ниже курской серии, вмещающей все известные месторождения КМА [Чернышов, 2004, 2007]. 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 подсвитами 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:

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) развитием магнезиально-щелочного метасоматоза с образованием разнородных по составу зон и жил;

4. Локализация благороднометаллосодержащей рудной минерализации в ядерных частях скла-

док 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 слюды, щелочных пироксенов и амфиболов; б) неравномерным распределением сульфидов при широком развитии их в виде гнезд, линз, прожилков.

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: а) отчетливая приуроченность рудопоявлений к субсогласным с общим планом рифтогенно-коллизийных структур КМА долгоживущим линейным зонам расланцованных, 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; б) исключительно высокая степень насыщенности рудоносных зон дайками различного возраста, состава и формационно-генетической принадлежности; в) сложное сочетание реликтовых и многочисленных наложенных минеральных парагенезисов рудовмещающих пород, отражающих многоэтапность и полифазность метаморфических и гидротермально-метасоматических процессов формирования рудообразующей системы; г) сложное строение рудных тел, их многоярусное размещение, отчетливо выраженные геохимические ореолы Au и сопутствующих элементов; д) 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 оруденения.

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 содержанием 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 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 проявляется 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 расщепления, бластомилонитизации и локализуются 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.) и многочисленных кварцевых, карбонат-кварцевых, турмалин-кварцевых жил.

Технология прогнозирования и поисков золото-платиносодержащих руд тимского, старооскольского и кшенского типов включает три этапа: а) прогноз рудоносных площадей; б) поисковые и в) поисково-оценочные работы, каждый из которых включает ряд стадий со специфическим набором геологоразведочных работ [Чернышов, 2007]. Завершающей стадией прогнозирования является разноранговая количественная оценка различных по геолого-формационной принадлежности ведущих промышленно-генетических типов золото-

Таблица 3. 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. Лиственизация, 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-пирротинный, 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 под-типу гидротермального типа.

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. Наиболее важное в промышленном отношении золото-платинометалльное оруденение тимского, кшенского и старооскольского типов, связанное с высокоуглеродистыми терригенно-осадочными и вулканогенно-осадочными породными ассоциациями и их метасоматитами курской и оскольской сериями КМА, образуют единую, длительно формирующуюся черносланцевую рудную формацию. Приведены закономерности размещения оруденения, характеризующегося сложным многокомпонентным, полиминеральным (более 60 рудных минералов, в том числе свыше 20 собственных минеральных фаз МПГ и Au) составом.

3. 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-минералогическо-геохимические и др.), определяющие выбор и оценку площадей развития углеродосодержащих толщ и их метасоматитов на конкретные типы золото-платинометалльного оруденения.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Буряк В.А., Михайлов Б.К., Цымбалюк Н.В. Генезис, закономерности размещения и перспективы золото- и платиноносности черносланцевых толщ // Руды и металлы. 2002. № 6. С. 25–36.
- Додин Д.А., Золоев К.К., Коротеев В.А., Чернышов Н.М. Углеродсодержащие формации – новый крупный источник платиновых металлов XXI века. М.: «Геоинформмарк», 2007. 130 с.
- Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платино-металльные месторождения России СПб.: Наука, 2000. 755 с.
- Золоев К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А. и др. Платинометалльное оруденение в геологических комплексах Урала. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. 199 с.
- Рудашевский Н.С., Кнауф В.В., Чернышов Н.М. Минералы платиновой группы из черных сланцев КМА // Докл. РАН. 1995. Т. 334. № 1. С. 91–95.
- Савицкий А.В., Титов В.К., Афанасьева Е.Н. и др. Платиноносность докембрийских черносланцевых толщ Карелии // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов. М.: «Геоинформмарк», 1994. С. 55–65.
- Созинов Н.А., Чистякова Н.Н., Казанцев В.А. Металлоносные черные сланцы Курской магнитной аномалии. М.: Наука, 1988. 149 с.
- Чернышов Н.М. Новый тип золото-платинометалльного оруденения в стратифицированных черносланцевых комплексах ВКМ (закономерности размещения, минералогическо-геохимические особенности и геолого-генетическая модель формирования) // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. геологическая. 1996. № 1. С. 114–132.
- 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 // Платина России. Проблемы развития минерально-сырьевой базы платиновых металлов в XXI веке. М.: «Геоинформмарк», 1999. Т. III. Кн. 2. С. 226–241.
- Чернышов Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). Воронеж: Воронежский госуниверситет, 2004. 448 с.
- Чернышов Н.М. Золото-платинометалльное оруденение черносланцевого типа Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). Воронеж: Воронежский госуниверситет, 2007. 177 с.
- Чернышова М.Н., Молотков С.П. Критерии прогнозирования и оценки сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения на основе модели эволюции интрузивно-дайки системы мамонского типа // Вестник Воронежского государственного университета. Сер. геологическая. 2006. № 1. С. 85–100.

Рецензент кандидат геол.-мин. наук В.П. Молошаг

LOCALISATION REGULARITIES, COMPOSITION AND FORECASTING AND EXPLORATION CRITERIA OF BLACK-SHALE GOLD-PLATINUM ORES IN VORONEZH CRYSTAL MASSIF

N.M. Chernyshov, M.N. Chernyshova

Voronezh State University

Systematization and structural-material characteristics of noble metal mineralization, associated with different-age carbonaceous series and metasomatites of Voronezh crystalline massif are presented. The boundary features and regional and local forecasting criteria for of the most important for the economy Tim, Kshen and Sary Oskol types, are distinguished. These types are characterized by multilevel location, complex multicomponent, polymineral composition of ores (over 60 ore minerals, including more than 20 own mineral phases of platinum-group elements and Au). Tectonic, structural-material, metamorphic and hydrothermal-metasomatic, ore-localizing, ore-mineralogical-geochemical, and other basic ore-formation parameters which determine the choice and assessment of the areas for concrete types of gold and platinum-group metals mineralization are given.

Key words: Voronezh Crystal Massif, gold-platinum ores, black shale type, systematization, location regularities, mineralogy, forecasting criteria.