

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ПЛАТИНОИДОВ В РУДОНЕСУЩИХ ДАЙКАХ УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАЗВИТИЯ ВКМ (ЦЕНТРАЛЬНАЯ РОССИЯ)

М. Н. Чернышова

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 27 февраля 2010 г.

Аннотация. Дана оценка роли даек как важнейшего рудонесущего (платинометалльного) компонента ведущих типов ультрамафит-мафитовых комплексов и связанного с ними сульфидного медно-никелевого оруденения. Степень платиноносности дайковых образований – комагматов рудонесущих комплексов – определяется последовательной сменой геодинамических режимов и составом магматических расплавов. По мере перехода от архейского этапа развития ВКМ к протерозойскому возрастает количественная роль даек, спектр их состава с одновременным увеличением палладия относительно платины и усложнением парагенезиса рудообразующих минералов.

Ключевые слова: рудномагматические системы (РМС), платинометалльное оруденение, дайковые образования, платиноносность, сульфидные медно-никелевые месторождения.

Abstract. The assessment of the role of dykes as the most important ore-bearing (platinoid) component of the leading types of ultramafic-mafic complexes and associated copper-nickel sulfide mineralization was carried out. The degree of platinum content in dyke formations – comagmates of ore-bearing complexes is determined by the succession of geodynamic regimes and composition of magmatic melts. As the transition from the Archean stage of the development of VCM to the Proterozoic took place, the quantitative role of the dykes and the spectrum of their composition with a simultaneous increase of palladium in relation to platinum and the complexity of the paragenesis of ore-forming minerals increased.

Key words: ore-magmatic systems (OMS), platinoid mineralization, dyke formations, platinum content, sulfide copper-nickel deposits

В соответствии с геодинамической моделью развития Воронежского кристаллического массива (ВКМ) в его пределах выделяют шесть типов ультрамафит-мафитовых и мафитовых формаций [1–4]: 1) *бесединский* тип (вулканно-плутоническая-пикрит(комагмит?)-базальтовая и комагматичная перидотит-пироксенит-габбро-анортозитовая в рамках бесединского комплекса); 2) *олимпийский* (вулканно-платоническая комагмит-базальтовая и базальт-риодацитовая в рамках михайловской серии и дунит-перидотитовая в рамках сергиевского или железногорского комплекса); 3) *мамонский* (дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовая); 4) *еланский* (ортопироксенит-норит-диоритовая); 5) *шукавский* (верлит-габбродиабазовая); 6) *смолодинско-новогольский* (троктолит-габбродолеритовая, трапповая). Каждая из этих формаций сопровождается разномасштабным сульфидным медно-никелевым оруденением, образуя в совокуп-

ности рудномагматические системы (РМС; табл. 1). Важнейшим структурно-вещественным и рудонесущим их компонентом являются дайковые образования, состав и характер распределения которых в значительной мере определяется условиями формирования разнотипных по составу и формационной принадлежности никель-платиноносных комплексов [5–7].

1. Распространенность даек рудонесущих ультрамафит-мафитовых комплексов, их петролого-генетическая и структурно-морфологическая систематика

В оценке количественной роли и характера распределения дайковых образований особая роль принадлежит, прежде всего, группе даек, характеризующихся тесной пространственно-временной связью с определенными интрузивными комагматами, с которыми они образуют единые сингенетически родственные ряды пород. Состав дайковых породных ассоциаций и последовательность их формирования определяется составом исходного

Таблица 1

Распределение и состав дайковых образований в разнотипных сульфидных медно-никелевых рудномагматических системах ВКМ

Тип рудовмещающих магматических формаций		Рудовмещающие породы (условия локализации оруденения)	Дайковые коагматы и их количественная роль (об.%)	Минеральный тип и состав руд	Рудно-петрогеохимические особенности РМС	Месторождения, рудопроявления				
Эффузивные	Интрузивные					Средние и мелкие	Рудопроявления	Крупные	Средние и мелкие	Установленные
		Смородинско-новогольский умеренномагнезиальный никелево-медный тип раннеплатформенного этапа (новогольский подтип верхнего Карелия; 1,8 млрд.лет и смородинский подтип нижнего карелия; 2,06 млрд.лет)								
Траповая (голент-базальтовая)	Троктолит-габбродолеритовая (траповая); (смородинский и новогольский комплексы)	<u>Троктолитовые габбродолериты, оливинные **</u> , оливинсодержащие, долерит-пегматиты (нижние горизонты дифференцированных интрузивов)	Плагиоклазовые и микроклиновые граниты, диориты, лампрофиры, <u>долерит-пегматиты</u> (до 10% объема дифференцированных тел)	<u>Пентландит-халькопирит-пирротинный</u> (пирротин, халькопирит, пентландит ±пирит, маккинавит, сфалерит, миллерит, кубанит, валлерит, магнетит, титаномагнетит, ильменит и др.)	MgO = 8,0–11,0 мас.%; 3,5–11,0 Ni/Cu <1,0; Pt = 20,0–80,0 мг/т; Pd = 20,0–190,0 мг/т; Au = 20,0–70,0 мг/т; Pd/Pt >2; δ ³⁴ S ‰ = 1,5±3,0			+	+	+
Шукавский повышенномагнезиальный медно-никелевый тип (нижнекарельский тафрогенез; <2,0 млрд.лет)										
	Габбро-верлитовая (шукавский комплекс)	Дуниты, верлиты ± лерцолиты, клинопироксениты (ультрамафиты дифференцированных интрузивов)	Диориты, габбро-диабазы, клинопироксены (2,5%)	<u>Халькопирит-пентландит-пирротинный</u> (пирротин, халькопирит, пентландит, цинксодержащие хромшпинелиды, титаномагнетит, магнетит, пирит, арсенопирит, миллерит, кобальтин и др.)	MgO = 20,0–38,0 мас.%; 10,0–36,0 Ni/Cu = 2,0–3,0; Ni/Co >20,0; Pt = 60,0–80,0 мг/т; Pd = 20,0–30,0 мг/т; Au = 3,0–6,0 мг/т; Pd/Pt = 0,3–0,4			+		+
Еланский маламагнезиальный медисто-кобальт-никелевый тип (нижнекарельский этап реактивизации рифтогенных структур; 2,065 – 2,050 млрд.лет)										
	Ортопироксенит-диоритовая субвулканическая дайковая (еланский комплекс)	<u>Ортопироксениты, нориты, диориты</u>	<u>Ортопироксениты, роговообманковое габбро, норит-порфириты, диоритовые порфириты</u> диориты, гранодиориты, лампрофиры, плагиоклазиты (6-7%)	<u>Пентландит-пирротинный</u> (±халькопирит) и <u>арсенид-сульфоарсенид-халькопирит-пентландит-пирротинный</u> (пирротин, троилит, пентландит, высокохромистые хромшпинелиды, аргентопентландит, кубанит, миллерит, арсениды и сульфиды Ni, Co, теллурувисмутит, молибденит, сфалерит, маккинавит, галенит, самородное золото и др.)	MgO = 6,0–12,0 мас.%; 2,0–24,0 Ni/Cu = 6,7–114,4 (33,3); Ni/Co = 12,3–42,0 (26,7); Pt = 20,0–170,0 (91,0) мг/т; Pd = 53,0–360,0 (182,0) мг/т; Au = (200,0) мг/т; Pd/Pt = 2,0; δ ³⁴ S ‰ = -3,6± -6,0 (-4,3)			+	+	+
Мамонский повышенно- и умеренномагнезиальный медно- и медисто-никелевый тип (нижнекарельский этап рассеянного спрединга; 2,1 – 2,08 млрд.лет)										
	Дунит-перидотит-габбронорит-габбровая (мамонский комплекс)	<u>Дуниты, перидотиты</u> (гарцбургиты, лерцолиты, верлиты); <u>орто- и клинопироксениты, габбронориты, габбро, (высоко- и умеренно-магнезиальные</u>	<u>Ортопироксениты, клинопироксениты, титанистороговообманковые пироксениты, горнблендиты, габбро</u> роговообманковое, микрогаббро, нориты, габбропорфириты, плагиопорфириты, диориты, диоритовые порфириты,	<u>Халькопирит-пентландит-пирротинный, реже пентландит-пирротинный</u> (пирротин, троилит, пентландит, халькопирит, хромшпинелиды, магнетит, сульфиды Ni, Cu, Co, валлерит, пирит, точилинит, кубанит, хизлевуудит, миллерит, молибденит,	MgO = 20,0–25,0 мас.%; 3,0–35,0 Ni/Cu = 0,7–180,0 (2,9); Ni/Co = 5,0–28,0 (17,2); Pt = 10,0–1000,0 (170,0) мг/т; Pd = 40,0–2500,0 (387,0) мг/т; Au = 50,0–1400,0 (125,0) мг/т; Pd/Pt = 0,8–8,1 (2,3); δ ³⁴ S ‰ = 4,1±0,4			+	+	+
Олимпийский высокомагнезиальный медисто-никелевый тип (позднеархейский рифтогенез; 3,0–2,5 млрд.лет)										
Коматитит-базальтовая (александровская свита михайловской серии)	Дунит-перидотитовая (железногорский комплекс)	<u>Дуниты, перидотиты и их серпентиниты, Толентовые и коматитовые базальты, перидотитовые и пироксенитовые коматититы</u>	Тарасовский комплекс даек <u>габбродиабазов</u> (1-3%) в «верхних» зеленокаменных поясах	<u>Пентландит-пирротинный и полидимит-пиритовый</u> (пирротин, пентландит, халькопирит ±пирит, хромсодержащий магнетит, высокохромистые цинксодержащие хромшпинелиды, никелин, хизлевуудит)	MgO = 20,0–33,0 мас.%; Ni/Cu >3,0–10,0; Ni/Co = 10,0–20,0; Pt = 60,0–140,0 мг/т; Pd = 23,0–75,0 мг/т; Au до 90,0 мг/т; Pd/Pt = 0,38–0,40; δ ³⁴ S ‰ = 1,65			+		+
Бесединский повышенно магнезиальный медисто-никелевый тип (раннеархейский этап нуклеократонизации; 3,0 млрд.лет)										
Примитивная коматитит-пикрит(?) -базальтовая (в составе обоянского СВК)	Перидотит-пироксенит-габбронорит-анортозитовая(?) (бесединский комплекс)	Габбро, анортозиты, габбронориты, <u>перидотиты, пироксениты, Коматитовые (пикритовые ?) ультрамафиты, толентовые базальты</u>	<u>Горнблендиты, пироксениты</u> габбронориты (до 1%)	<u>Пентландит-пирротинный</u> (пирротин, пентландит, халькопирит ±пирит, молибденит, ильменит, магнетит, титаномагнетит, шпинель)	MgO = 10,0–30,0 мас.%; Ni/Cu >10,0; Ni/Co = 10,0–40,0; Pt = 170,0–1300,0 мг/т; Pd = 14,0–360,0 мг/т; Au = 2,8–4,5 мг/т; Pd/Pt = 0,08–0,28; δ ³⁴ S ‰ = 1,0±-5,0			+		+

Примечание. * Подчеркнуты интрузивные и дайковые породы, в которых концентрируется главная масса цветных и благородных металлов. ** В числителе содержание MgO в рудонесущих дифференциатах, в знаменателе – пределы колебаний.

магматического расплава и степень проявления глубинной и внутрикамерной его дифференциации в процессе становления интрузий никель-платиновых комплексов.

Выполненный на основе этих принципов анализ показывает, что изменение геодинамических режимов в процессе длительного ($AR_1 - K_2$) формирования коры континентального типа и ее структурно-вещественной эволюции сопровождалось изменением типов интрузивно-дайковых магматических систем и ассоциирующего с ними сульфидного медно-никелевого оруденения, усложнением состава и степени их дифференцированности, возрастанием количественной роли, видов и разновидностей дайковых образований (см. табл. 1). Высокой степенью насыщенности (6–12 % объема) и наибольшим разнообразием состава характеризуются дайки, ассоциирующие с промышленно значимыми многофазными интрузивами мамонского и еланского типов РМС. Важной особенностью даек этого типа РМС является наличие в них высоких (до промышленных масштабов) концентраций Ni, Cu, Co, ЭПГ [5, 8]). Широко развитые дайковые образования (до 10 %) в составе дифференцированных тел смородинско-новогольского типа раннеплатформенного этапа выступают в качестве одной из важных прогнозно-поисковых предпосылок выявления промышленно значимых месторождений.

В составе разнотипных никель-платиновых РМС выделяется три группы даек, различных по структурно-петрологической принадлежности, возрасту и месту в общей длительной эволюции сульфидного медно-никелевого рудообразования. Первая из них представлена сложными по морфологии и составу дайкообразными подводными каналами – проводниками магматических сульфидоносных расплавов в магматическую камеру; нередко они сами по себе являются самостоятельными рудообразующими системами. Вторая группа сопряжена со становлением магматических тел и представлена: а) дайками – апофизами вулканических комагматов и интрузивных эквивалентов (разнообразных по составу дифференциатов) во вмещающих породах (перимагматические дайки); б) внутриинтрузивными (интрамагматическими) жильными отщеплениями интеркумуляусного расплава и продуктами неоднократно поступающих в конечную камеру магм с образованием автономно кристаллизующихся петрорудосистем. К третьей группе относятся разнообразные по составу, формационной принадлежности и возрасту дайки бо-

лее поздних магматических комплексов, а также гетерогенные по своей природе и составу лампрофиры [5]. По особенностям внутреннего строения среди даек выделяются две группы: а) простые, петрографически однородные; б) сложные, преимущественно многократного внедрения и петрографически неоднородные, вследствие инъекции расплавов различного состава и его дифференциации связанные с одним или несколькими разновозрастными магматическими источниками.

Полигенность условий формирования и пространственно-генетическая связь сульфидного медно-никелевого оруденения с различными по составу и формационной принадлежности рудообразующими и рудоконтролирующими структурно-вещественными комплексами, сформировавшимися в геодинамических режимах наиболее интенсивной эндогенной активности и структурной дифференциации земной коры, обуславливают в совокупности поливариантный характер распределения количественных содержаний благородных (платиноиды) и цветных (Ni, Cu, Co) металлов и соотношений их ассоциаций с лито- и сидерофильными элементами [4]. Эти же факторы определяют минералого-геохимический облик, масштабы и степень продуктивности всей рудообразующей системы, включая дайковые образования [7, 9] и распределение последних платиноидов.

2. Распределение платиноидов в дайках разновозрастных и разноформационных рудонесущих ультрамафит-мафитовых комплексов

2.1. Платиноносность дайковых пород РМС мезо-неоархейского циклов

Относительно слабая дифференцированность раннеархейской земной коры, сравнительно небольшое разнообразие формационных типов магмогенных пород, являющихся в основном вулканно-интрузивными дифференциатами примитивной коматиит-базальтовой магмы [2, 3], определяют ограниченное количество рудных формаций и в целом малую металлогеническую продуктивность СВК нуклеарного этапа [4, 10].

Сформировавшаяся в этот этап из примитивной (неистощенной) мантии сульфидоносная ультрамафит-мафитовая вулканно-плутоническая ассоциация (в объеме коматиит-базальтовых вулкаников брянского и покровского типов и бесединского комплекса) характеризуется [4]: 1) повышенными концентрациями хрома (до 0,3 мас. %), титана (0,2–0,6 мас. %), никеля и преобладанием его над

медью ($Ni/Cu > 3$) и кобальтом ($Ni/Co > 10$), повышенными концентрациями ЭПГ в интрузивных дифференциатах и их дайковых комагматах – оливиновых пироксенитах и горнблендитах и значительным преобладанием Pt над Pd (Pd/Pt – от 0,06 до 0,28; табл. 2); 2) бедной сульфидной медно-никелевой минерализацией вкрапленного типа; 3) простотой состава рудного минерального парагенезиса (пирротин, халькопирит, пентландит, пирит ± оксиды Cr, Fe, Ti) [1, 3].

Эти особенности в известной мере проявляются в дайковом тарасовском комплексе габбро-диабазов (см. табл. 2), выступающих в качестве комаг-

матов толеитовой эффузивной ассоциации михайловской серии неoarхейских зеленокаменных поясов КМА [4]. При несомненной более высокой степени дифференцированности, появлении в неoarхее значительного разнообразия структурно-вещественных комплексов (СВК), усложнении состава слагающих их формационных рядов породных ассоциаций, существенном возрастании спектра рудных формаций в дайковом комплексе габбро-диабазов сохраняются низкие содержания рудообразующих элементов, значительное преобладание Ni над Cu и Co ($Ni/Cu > 5$) и Pt над Pd ($Pd/Pt = 0,36$).

Таблица 2

Распределение платиноидов в дайках бесединского и тарасовского (мезо- и неoarхейских) комплексов

Состав даек	Текстурные типы руд	Минеральные типы и состав рудной минерализации	Содержание рудообразующих элементов				
			Pt	Pd	Pd/Pt	n	
Тарасовский комплекс (неoarхей)							
Комплекс даек габбро-диабазов	Вкрапленный	Пентландит-пирротинный и полидимит-пиритовый (пирротин, пентландит ± халькопирит, пирит, никелин, оксиды Cr, Fe, Ti)	Ni = 0,25 Cu = 0,05 Co = 0,016 Ni/Cu > 5 ЭПГ до 35 мг/т	25	9	0,36	2
Бесединский комплекс (мезoarхей)							
Пироксеновый. Горнблендиты рудные	Вкрапленный	Пентландит-пирротинный (пирротин, пентландит, халькопирит ± пирит, оксиды Cr, Fe, Ti)	Ni = 0,15–0,27 Cu = 0,05–0,09 Co = 0,01–0,02 Ni/Cu > 3–5 ЭПГ = 250–1700	1300	360	0,28	1
Пироксениты с сульфидной вкрапленностью			240	15	0,06	1	

Примечание: здесь и далее содержания Ni, Cu, Co в мас. %, ЭПГ (Pt, Pd и др.) и Au – в мг/т; n – количество анализов (ЭПГ). При составлении таблицы использовались материалы В. Л. Бочарова [2]

2.2. Платиноносность дайковых пород РМС протерозоя

Металлогенический облик и высокая степень продуктивности раннепротерозойского цикла отражают исключительное многообразие геодинамических обстановок длительного (порядка 700 млн лет) формирования коры континентального типа и ее структурно-вещественной эволюции. Закономерная смена геодинамических и эндогенных режимов раннепротерозойского цикла развития ВКМ сопровождалась: а) изменением типов СВК, составов, формационной и сериальной принадлежности магматических образований; б) увеличением роли процессов мантийно-корового взаимодействия при формировании исходных магматических расплавов при общей, отчетливо выраженной эволюционной направленности магматизма от комагмитовых и толеитовых ассоциаций к известково-щелочным,

субщелочным и щелочным; в) возрастающим разнообразием и степенью продуктивности рудных формаций, среди которых значительно увеличивается роль сульфидных платиноидно-медно-никелевых, принадлежащих к различным по составу и петролого-геохимическому облику типам РМС.

При достаточно широком проявлении в докембрийском фундаменте ВКМ разномасштабного сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения наиболее важные в промышленном отношении месторождения и многочисленные рудопроявления связаны лишь с многофазными интрузивно-дайковыми образованиями двух раннепротерозойских формаций [2]: а) дунит-перидотит-пироксенит-габброноритовой зон рассеянного спрединга (мамонский тип месторождений); б) субвулканической ортопироксенит-норит-диоритовой реактивизированных структур рифтогенного типа

(еланский тип). Исключительно высокая степень насыщения Хоперского мегаблока ВКМ ультрамафит-мафитовыми и мафитовыми интрузивно-дайкивыми породными ассоциациями является следствием существования в его пределах магматических систем, развивавшихся над головными частями мантийного плюма с возникновением на поднимающейся его поверхности локальных плюмов и их восходящими потоками, сформировавшимися на рубеже 2100–2050 ± 14 млн лет [6, 7].

Граничными признаками мамонского типа месторождений (Нижнемамонское, Подколдновское и др.) выступают [3, 4]: а) пространственно-генетическая связь руд с дифференцированными интрузивами и согласное с элементами их внутренней стратификации залегание разномасштабных по протяженности (от 200–400 до 2200 м) и мощности (от 2–5 до 80 м) зон промышленного платиноидно-медно-никелевого оруденения, локализуемого в тех частях разреза, которые наиболее обогащены оливином и характеризуются интенсивной флюидно-магматической расслоенностью с неоднократным чередованием дунитов, перидотитов и пироксенитов; б) преобладание среди руд бедных халькопирит-пентландит-пирротиновых вкрапленных (Ni до 0,85 мас. %; Cu до 0,71 %; Co = 0,04 %; ЭПГ = 0,5 г/т) при ограниченном развитии богатых густовкрапленных, массивных и брекчиевидных (Ni = 1,67–5,93 мас. %; Cu до 4,01 %; Co = 0,08–0,16 %; ЭПГ до 1,5–2,5 г/т; Pt/Pd = 1) их разновидностей с широким комплексом (свыше 30) рудных (в том числе Pt-Pd-содержащих) минералов.

Специфические условия формирования пород и руд из гибридного кремнисто-магнезиального (бонинитоподобного) сульфидоносного норитового расплава, возникшего в результате контаминации исходных мантийных (коматиитовых) магм коровым материалом, определяют уникальность структурно-вещественных, петролого-геохимических и рудно-формационных граничных признаков крупного по запасам и ресурсам еланского типа платиноидно-медно-кобальт-никелевых месторождений (Еланское, Елкинское). К их числу относятся [3, 4]: а) присущий коматиит-ассоциированным сульфидно-никеленосным РМС маломедистый высоконикелистый (с повышенным содержанием кобальта) состав руд в норитах с возрастающей концентрацией ЭПГ по мере перехода от вкрапленных (Ni = 0,87–1,45 мас. %, Cu = 0,11 %, Co = 0,04–0,42 %, ЭПГ = 0,30 г/т) к более медистым вкраплено-про-

жилковым (Ni = 6,66 мас. %, Cu = 0,23 %, Pt = 0,68 г/т, Pd = 1,3 г/т) и ограниченно развитым брекчиевидным и массивным (Ni = 8,01–14,35 мас. %, Cu = 0,28–1,17 %, Co = 0,25–0,32 %, ЭПГ от 0,510 до 1,98 г/т, в отдельных случаях ЭПГ до 12,5 г/т, Au до 2,5 г/т); в) ведущая роль в сульфидном парагенезисе палладийсодержащего пентландита (до 30–50 %) и палладий-родийсодержащего пирротина и крайне низкие содержания халькопирита (2,5 %, иногда до 10–15 %), постоянное присутствие высокохромистых цинк- и рутенийсодержащих хромшпинелидов, самородного золота и в разной мере обогащенных платиноидами сульфидарсенидов.

Важнейшим структурно-вещественным и рудонесущим компонентом мамонского и еланского типов РМС (до 6–12 % объема) являются дайковые образования [8], среди которых, подобно другим охарактеризованным выше типам сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений, выделяются три группы [8]. Геолого-структурные, минералого-петрографические и рудно-геохимические исследования по оценке пространственно-временных и генетических взаимоотношений даек и оруденения, определения их роли как рудонесущего компонента и места в единой РМС мамонского типа позволили выявить ряд [5, 8] различных по масштабам, времени и условиям формирования, минеральному составу и содержанию Ni, Co, Cu и благородных металлов месторождений и разномасштабных рудопроявлений, ассоциирующих с дайковыми образованиями (табл. 3).

Среди этих типов, обобщенная характеристика которых приведена в работе [9], особое место занимает Юбилейное месторождение, в котором в качестве рудонесущего компонента выступает дайковая ассоциация пород многократного внедрения. В строении основной промышленно значимой рудной залежи в ультрамафитовой породной ассоциации дайкового комплекса выделяется два ведущих структурно-текстурных типа руд [9]: а) рассеяновкрапленные, матричные, количественно резко преобладающие (Ni = 0,30–2,90 мас. %, Cu = 0,15–2,0 %, Co = 0,03–0,16 %, Pt = 0,072 г/т, Pd = 0,408 г/т); б) инъекционные по своей природе маломощные (0,10–0,50 м) жилы массивных весьма богатых (Ni = 1,3–3,0, иногда 5,3 мас. %, Cu = 10,0–12,0 %, Co = 0,13–0,20 %, Pt = 0,016 г/т и Pd = 0,420 г/т), которые размещаются в различных частях преимущественно густовкрапленных руд. По минеральному составу вкрапленные руды от-

Распределение платиноидов в разнотипных медно-никелевых и кобальт-никелевых руд в дайково-жильных образованиях и метасоматитах мамонского типа РМС

Состав даек	Текстурные типы руд	Минеральные типы и состав рудной минерализации	Содержание рудообразующих элементов				
			Pt	Pd	Pd/Pt	n	
I тип – ассоциирующие с дайками многоактного внедрения с образованием автономных месторождений (юбилейный тип)							
1. Комплекс дайковых пород (роговообманковые перидотиты, плагиогорнблендиты, роговообманковое габбро, диориты, гранитоиды) многократного внедрения	Рассеянно-и густовкрапленные	Халькопирит-пентландит-пирротинный (± хромшпинелиды, магнетит, макинавит, валлериит, кубанит, бравоит, сульфиды Pb, Zn, Mo, арсениды, сульфид-арсениды Ni, Co; самородное золото, минералы платиновой группы)	Ni = 0,30–2,90 %; Cu = 0,15–2,0 %; Co = 0,03–0,16 %; ЭПГ > 480	72	408	5,07	3
	Массивные		Ni = 1,3–3,0 %; Cu до 10–12 %; Co = 0,13–0,20 %; ЭПГ = 440	60	380	6,3	2
II тип – ассоциирующие с внутриинтрузивными дайками ортопироксенитов и пироксеновых горнблендитов (восточно-садовский и северо-бычковский типы)							
2. Дайки ортопироксенитов, габбродиоритов, диоритов, гранитоидов	Вкрапленные, гнездово-вкрапленные	Халькопирит-пентландит-пирротинный и пентландит-пирротинный при ограниченной роли арсенид-сульфоарсенидного никель-кобальтового (± хромшпинелиды, макинавит, ильменит, магнетит, сфалерит, молибденит и др.)	Ni = 0,37–2,84 %; Cu = 0,21–0,39 %; Co = 0,03–0,16 %	–	–	–	2
	Массивные		Ni = 2,38–3,4 %; Cu = 0,14–0,30 %; Co = 0,11–0,21 %; ЭПГ = 460	140	320	2,43	1
3. Дайки пироксеновых горнблендитов среди рудоносных роговообманковых перидотитов	Вкрапленные и прожилково-вкрапленные	Халькопирит-пентландит-пирротинный (± магнетит, хромшпинелиды, кобальтин, герсдорфит, пирит, виоларит)	Ni = 0,60 %; Cu = 0,30 %; Co = 0,02 %; ЭПГ = 240	70	170	2,41	2
III тип – ассоциирующие с дайками титанистороговообманковых пироксенитов (ширяевский тип)							
4. Дайки титанистороговообманковых пироксенитов среди рудоносных роговообманковых перидотитов	Вкрапленные и прожилково-вкрапленные	Существенно пирротинный и пирит-пирротинный малоникелистый (± магнетит, ильменит, хромшпинелиды, макинавит)	Ni = 0,20 %; Cu = 0,19 %; Co = 0,04 %; Pt + Pd = 200	65	135	2,07	3
IV тип – возникшие в зоне катаклаза и метасоматической переработки дайковых тел рудоносных пироксенитов и горнблендитов диоритами (комагматов мамонского комплекса) и гранитоидами бобровского комплекса (артюховский, коммунский и мартковский типы)							
5. Флогопит-биотит-вермикулит-хлоритовые (± серпентин, тальк) метасоматиты зон контакта ультрамафитов с дайками гранитоидов	Массивные	Пентландит-халькопирит-пирротинный (± хромшпинелиды, магнетит, макинавит, молибденит, валлериит, кобальтин, никелин, сфалерит, пирит, золото самородное)	Ni = 2,83 %; Cu = 10,0 %; Co = 0,13 %; Au = 0,88 г/т; Pt + Pd = 60	130	470	3,61	1
6. Карбонат-хлорит-амфиболовые метасоматиты и кварц-сульфидно-арсенидные жилы на контакте дайковых пироксенитов, диоритов и гранитоидов	Вкрапленные	Халькопирит-пентландитовый и сульфид-арсенидный никель-кобальтовый (герсдорфит, кобальтистый герсдорфит, никелистый кобальтин, кобальтин, никелин, гаухекорнит, миллерит, хизлевудит, графит и др.)	Ni = 1,25 %; Cu = 0,41 %; Co = 0,03 %	–	–	–	2
	Массивные		Ni = 14,5 %; Cu = 0,44 %; Co = 2,2 %; Au = 500; ЭПГ = 1700	250	1450	5,8	1

Примечание: n – количество анализов на ЭПГ.

носятся к халькопирит-пентландит-пирротиновым с широким комплексом других сульфидов, а также арсенидов, сульфоарсенидов, самородного Au, платиноидов.

Характер взаимоотношения даек и оруденения свидетельствует о полигенной природе и длительном, полихронном процессе формирования сульфидной платиноидно-медно-никелевой интрузивно-дайки РМС мамонского типа. Установлено, что процесс сульфидного платиноидно-медно-никелевого рудообразования, помимо Юбилейного месторождения, включает: а) близкоодновременное с сингенетическими рудами в интрузивных ультрамафитах формирование даек ортопироксенитов и горнблендитов субультрамафитового ряда, сопровождающихся богатыми вкрапленными, гнездово-вкрапленными (Ni = 0,37–2,84 мас. %, Cu = 0,21–0,39 %, Co = 0,03–0,16 %) и массивными (Ni = 2,38–3,40 мас. %, Cu = 0,21–0,30 %, Co = 0,11–0,21 %, ЭПГ = 0,46 г/т) рудами; б) последующее внедрение даек титанистороговообманковых пироксенитов с существенно пирротиновыми малоникелистыми (Ni = 0,20 мас. %, Cu = 0,19 %, Co = 0,04 %, Pt + Pd = 0,30 г/т) рудами; в) значительно оторванное во времени от становления РМС мамонского типа формирование богатых высокомедистых (Cu = 10,0 мас. %, Ni = 2,83 %, Co = 0,13 %, Au = 0,88 г/т, Pt + Pd = 0,60 г/т) и кобальт-никелевых вкрапленных (Ni = 1,25 мас. %, Cu = 0,41 %, Co = 0,03 %) и массивных (Ni = 14,5 мас. %, Cu = 0,44 %, Co = 2,2 %, Au = 0,5 г/т, ЭПГ = 1,7 г/т) руд в результате метасоматической переработки дайкообразных тел пироксенитов и горнблендитов диоритами мамонского и гранитоидами бобровского комплексов. Принципиальная схема полихронного и полигенного процесса формирования рудонесущего интрузивно-дайки РМС на основе модели транскоровой эволюции над локальными плюмами детально описана ранее [6, 7].

Эта модель в известной мере характерна и для процесса формирования сульфоарсенидно-сульфидной высоконикелистой платиноидно-кобальт-медистой РМС еланского типа, которая включает (табл. 4): а) промышленно значимое оруденение в серии автономных крупных (протяженность около 4 км при суммарной мощности до 200 м) рудонесущих дайковых телах ортопироксенитов, предшествующее формированию основной массы руд в интрузивной фации норитов; б) одновременное или близкоодновременное с магматичес-

кими рудами в норитах вкрапленное оруденение в жильных норит-порфиритах и богатое по содержанию цветных и благородных металлов в дайковых телах роговообманкового габбро и их пегматоидных образованиях. Более позднее по времени формирования крайне бедное оруденение, ассоциирующее с завершающей диоритовой фазой и ее жильными комагматами, наследует лишь ряд рудногеохимических признаков, присутствующих длительно формирующимся РМС еланского типа [6].

Количественное распределение рудообразующих элементов (Ni, Co, Cu), а также платиноидов выявляет (см. табл. 4) присущие еланскому типу месторождений высоконикелистый, маломедистый с повышенным содержанием кобальта и значительным преобладанием палладия над платиной руд в ортопироксенитах и особенно в дайках роговообманковых габбро и сульфоарсенид-сульфидно-пегматоидных жилах. Важно особо подчеркнуть заметное возрастание в этих типах руд палладия относительно платины, а также существенный тренд платины в дайках архейских ультрамафит-мафитовых комплексов и палладия в раннепротерозойских (рис.).

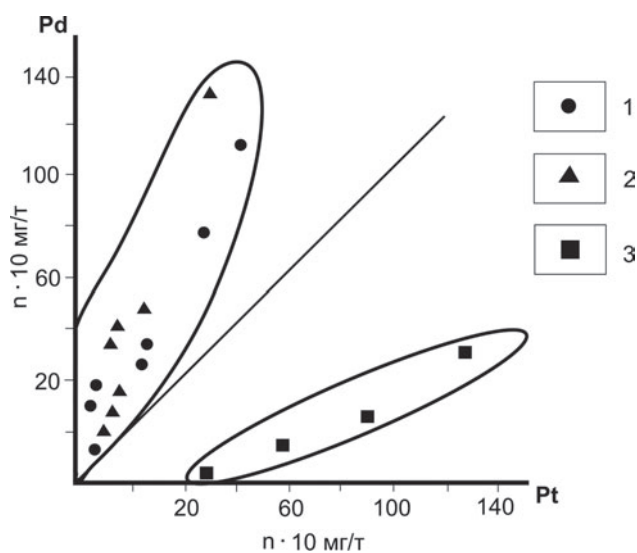


Рис. Соотношение палладия и платины в рудонесущих дайках ультрамафит-мафитовых комплексов ВКМ: 1 – дайки еланского комплекса; 2 – дайки мамонского комплекса; 3 – дайки тарасовского и бесединского комплексов (исходные данные помещены в табл. 2–4)

Распределение платиноидов в медно-никелевых и кобальт-медисто-никелевых рудах в дайково-жильных образованиях еланского типа РМС

Состав рудовмещающих дайково-жильных образований	Текстурные типы руд	Минеральные типы и состав руд	Содержание рудообразующих элементов				
			Pt	Pd	Pd/Pt	n	
I тип – ассоциирующие с дайками ортопироксенитов, предшествующих образованию сульфидно-медно-никелевых руд в интрузивных норитах							
Дайки ортопироксенитов среди Елань-Коленовского ультрамафит-мафитового плутона мамонского комплекса	Вкрапленный	Халькопирит-пентландит-пирротинный с существенной ролью арсенидов и сульфоарсенидов Ni и Co (никелин, кобальтин, герсдорфит, смальтин-скутерродит, раммельсбергит, гаухекорнит и др.), хромшпинелиды (высокохромистые цинксодержащие), магнетит, сфалерит, галенит, молибденит, миллерит, кубанит, валлериит, самородное золото, платиновый минерал (?), тунгстенит, пирит, графит и др.	Ni = 0,78–1,10 %; Co = 0,05–0,07 %; Cu = 0,17–0,20 %	19	31	1,63	14
	Гнездово-вкрапленный		Ni = 1,70 %; Co = 0,15 %; Cu = 0,25 %; Pt + Pd = 350; Au = 460	120	230	4,5	4
II тип – ассоциирующие с дайками норит-порфиритов							
Дайки норит-порфиритов среди интрузивных норитов	Вкрапленный	Халькопирит-пентландит-пирротинный с ограниченным развитием сульфоарсенидов Ni и Co (кобальтин, герсдорфит, никелин, ульманит, маухерит), арсенопирит, теллуrowисмутит, молибденит, сфалерит, хромшпинелиды, магнетит, ильменит и др.	Ni до 0,40 %; Co = 0,02 %; Cu = 0,06–0,07 %; ЭПГ до 220	40	180	4,5	6
III тип – ассоциирующие с внутрирудными дайками роговообманового габбро и их пегматоидами							
1. Дайки роговообманкового габбро среди рудоносных норитов	Вкрапленные	Халькопирит-пентландит-пирротинный с арсенидами и сульфоарсенидами Ni и Co (герсдорфит, кобальтин, никелин, гаухекорнит, маухерит, ульманит, раммельсбергит и др.), миллерит, арсенопирит, теллуrowисмутит, молибденит, сфалерит, галенит, пирит, борнит, макинавит, золото, аргентопентландит, алтаит, хромшпинелиды, магнетит, ильменит и др.	Ni = 0,47 %; Co = 0,02 %; Cu = 0,07 %	30	150	5,0	3
	Гнездово-вкрапленные		Ni = 3,42 %; Co = 0,05 %; Cu = 0,29 %	130	380	2,9	12
	Массивные		Ni = 5,45–6,25 %; Co = 0,09–0,10 %; Cu = 0,30–0,87 %; ЭПГ = 450	270	780	2,9	1
2. Сульфоарсенид-сульфидно-пегматоидные жилы среди даек роговообманкового габбро	Гнездово-прожилковые и массивные	Сульфоарсенид-сульфидный кобальт-медисто-никелевый (+ комплекс минералов, характерных для руд в дайках роговообманковых габбро)	Ni = 5,38–9,35 %; Co = 0,19–0,34 %; Cu = 0,20–1,03 %; Au = 0,54–1,03 %; ЭПГ = 1020–1560	420	1140	2,7	1

Примечание: в массивных рудах среди роговообманковых габбро присутствуют Rh = 8 мг/т, Ru = 5 мг/т, Ir = 15 мг/т; n – количество анализов на ЭПГ.

Выводы

Дайковые образования являются одним из существенных структурно-вещественных и рудонесущих компонентов различных по составу, возрасту, геодинамическим и эндогенным режимам формирования и металлогеническому потенциалу сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудномагматических систем. Степень платиноносности дайковых образований – комагматов рудонесущих ультрамафит-мафитовых комплексов и их эволюция всецело определяется последовательной сменой геодинамических режимов, глубиной

генерации мантийных расплавов и уровнем контаминированности их коровым материалом. В этом ряду в составе ультрамафит-мафитовых формаций возрастает количественная роль даек и спектр их состава, последовательное увеличение Pd относительно Pt на общем фоне возрастания Cu относительно Ni, многообразие текстурных типов и состава рудного минерального парагенезиса.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-05-99003-р-офи) и гранта Президента РФ (НШ-2211.2008.05)

ЛИТЕРАТУРА

1. Бочаров В. Л. Эндогенные режимы раннего докембрия Воронежского кристаллического массива / В. Л. Бочаров, Н. М. Чернышов // Бочаров В. Л. Эндогенные режимы формирования земной коры и рудообразования в раннем докембрии / В. Л. Бочаров, Н. М. Чернышов. – Л. : Наука, 1985. – С. 192–205.
2. Бочаров В. Л. Ультрамафит-мафитовый магматизм гранит-зеленокаменной области КМА / В. Л. Бочаров [и др.]. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос ун-та, 1993. – 176 с.
3. Чернышов Н. М. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения еланского типа (Геология, закономерности размещения, минералого-геохимические особенности руд, геолого-генетическая модель формирования) / Н. М. Чернышов // Вест. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геол. – 1998. – № 5. – С. 120–151.
4. Чернышов Н. М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.
5. Чернышова М. Н. Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) / М. Н. Чернышова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – 368 с.
6. Чернышова М. Н. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые и никель-кобальтовые руды в дайково-

жилых комплексах и метасоматитах Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) / М. Н. Чернышова // Литосфера. – 2006. – № 3. – С. 71–82.

7. Чернышова М. Н. Модель трансформации эволюции интрузивно-дайковой рудномагматической системы над локальными плюмами при формировании сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений ВКМ (Центральная Россия) / М. Н. Чернышова // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Методы, средства и результаты изучения : междунар. конф., Воронеж, сент. 2006. – Воронеж, 2006. – С. 241–244.

8. Чернышова М. Н. Дайки мамонского никеленосного комплекса и их соотношение с оруденением / М. Н. Чернышова. – Воронеж : ВГУ, 1999. – 121 с.

9. Чернышова М. Н. Дайковый рудонесущий комплекс Юбилейного месторождения ВКМ / М. Н. Чернышова // Вест. Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геол. – Воронеж, 2009. – № 1. – С. 111–123.

10. Смирнов В. И. Периодичность рудообразования в геологической истории / В. И. Смирнов // Смирнов В. И. Металлогения и рудные месторождения. 27-й МКГ / В. И. Смирнов. – М., 1984. – Т. 12. – С. 3–10.

Рецензент В. Л. Бочаров

*Воронежский государственный университет
М. Н. Чернышова, профессор кафедры минералогии
и петрологии, доктор геолого-минералогических
наук
Тел. 8 (4732) 208-434
petrology@list.ru*

*Voronezh State University
M. N. Chernyshova, Professor, Chair of Mineralogy
and Petrology, Doctor of the Geological and Mineralogical Science
Tel. 8 (4732) 208-434
petrology@list.ru*