

РУДОНЕСУЩАЯ РОЛЬ ДАЕК СУЛЬФИДНЫХ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Чл.-корр. РАН Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 15 октября 2008 г.

Аннотация: выполнена оценка роли даек как важнейших структурно-вещественных и рудонесущих компонентов ведущих типов сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС. Выделено три группы даек, различных по структурно-петрологической принадлежности и месту в общей эволюции сульфидного платиноидно-медно-никелевого рудообразования: а) подводющие каналы (проводники) РМС с образованием самостоятельных петрорудосистем и месторождений; б) апофизы интрузивных эквивалентов РМС во вмещающих породах; в) внутриинтрузивные жильные отщепления интеркумулясного расплава и производные новых неоднократно поступающих «свежих» порций магмы с образованием автономно кристаллизующихся петрорудосистем. В совокупности эти группы определяют высокий металлогенический потенциал РМС.

Ключевые слова: дайки, рудно-магматические системы (РМС), сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды.

Abstract: the evaluation of the role of dykes as the most important structural-material and ore-bearing components of the leading types of sulfide platinoid-copper-nickel OMS was carried out. Three groups of the dykes, differing in structural-petrologic properties and a place in the general evolution of the sulfide platinoid-copper-nickel ore formation were singled out: a) OMS incurrent canals (leaders) with the formation of independent petro-ore systems and deposits; b) tongues of intrusive OMS equivalents in enclosing rocks; c) intra-intrusive vein flakes of intercumulose melt and derivatives of new repeatedly incoming «fresh» portions of magma with the formation of independently crystallizing petro-ore systems. In aggregate these groups determine a high metallogenic potential of OMS.

Key words: dykes, ore-magmatic systems (OMS), sulfide platinoid-copper-nickel ores.

Дайковые образования, являющиеся одним из существенных элементов магматических и рудно-магматических систем (РМС), представляют исключительный интерес для решения фундаментальных проблем геологии, геодинамики, петрологии и рудообразования. Последние годы во многих публикациях отражается особая роль даек в качестве: а) системы подводющих каналов промежуточных коровых очагов головных частей мантийных суперплюмов и локальных плюмов [8, 30, 49, 50], включая оценку их роли в определении скорости роста плутонов [68]; б) составных частей магматических формаций, рубежных индикаторов их многостадийного становления [25, 27, 42, 44, 45] и нескольких последовательно сменяющихся во времени процессов магматической активности [3, 22, 31, 61]; в) самостоятельных дайковых серий и комплексов в виде линейных поясов, автономных полей, роя даек, присущих специфическим геодинамическим режимам формирования разнотипных

(офиолитовые пояса, внутриконтинентальные рифты и др.) структур [11, 18, 26, 29, 32, 34, 35, 55] или выступающих как возможные компоненты раннеархейского рециклинга коры [64] и реликтов крупных магматических провинций в пределах древних щитов [51, 76]; г) одного из ключевых и нередко единственных источников информации о древних мантийно-коровых процессах, исходном составе расплавов и степени их ассимиляции [4, 5, 20, 67, 69]; д) индикаторов сложных систем длительно формирующихся тектонических зон и нарушений, контролирующих нередко размещение полезных ископаемых в пределах разноранговых структур земной коры, которые испытали несколько этапов магматической активности [77]. Дайкам принадлежит определяющая роль при установлении возрастного расчленения и условий формирования разнотипных по составу и формационно-генетической принадлежности магматических комплексов, оценке их металлогенической специализации и потенциальной рудоносности. Однако большинство известных научных публикаций ка-

саются даек – производных основных и в большей мере средних и кислых магм, взаимосвязи дайковых пород и гидротермального рудообразования [1, 2, 12, 13]. Вместе с тем дайки широко представлены в магматическом рудогенезе при формировании: а) сульфидной платиноидно-медно-никелевой; б) малосульфидной платинометаллической; в) платиноносной хромитовой; г) платиноидно-ванадийсодержащей титаномагнетитовой и других рудных формациях.

1. Главнейшие типы сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС и связанные с ними месторождения

Пространственно и генетически связанные с различными по степени насыщенности дайковыми образованиями и вулканическими, вулкано-интрузивными и интрузивными ультрамафит-мафитовыми и мафитовыми комплексами платинонос-

ные месторождения и рудопроявления образуют в совокупности с последними специфические рудно-магматические системы (РМС), которые рассматриваются нами как целостные природные сообщества магматических, метаморфических и рудных формаций, связанных общностью геодинамических и эндогенных режимов и являющихся производными единых, неоднократно повторяющихся в геологическом времени и пространстве петрорудогенетических процессов, включающих зарождение, перенос и мобилизацию рудного вещества. В подобных РМС дайковые образования являются не только важнейшим структурно-вещественным, но и рудонесущим компонентом [41, 43, 45, 48]. Эта особенность наиболее отчетливо прослеживается в сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС (табл. 1); схема их размещения иллюстрируется рис. 1.

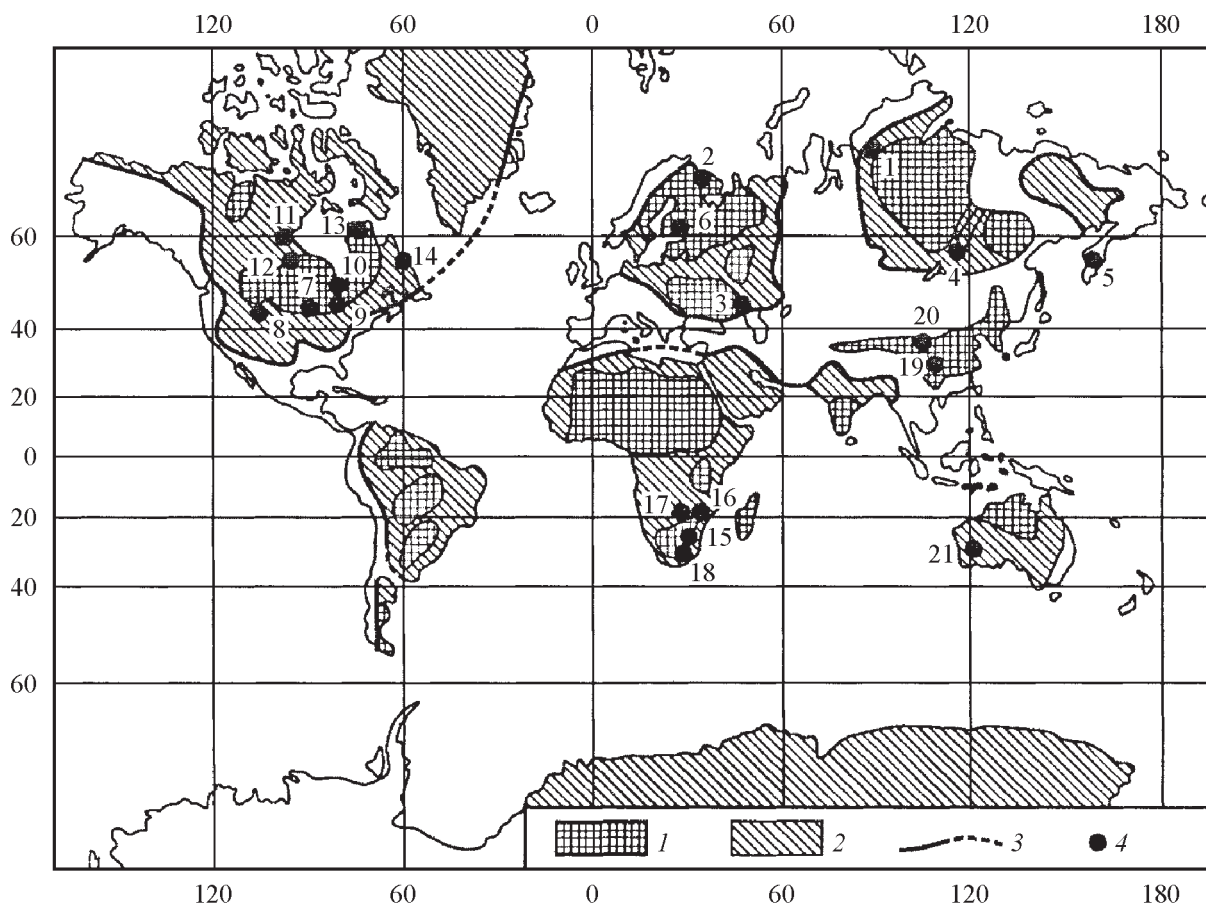


Рис. 1. Схема размещения платино-медно-никелевых месторождений и рудопроявлений (по [6] с дополнениями [19, 16, 37]): 1 – ядра древних платформ; 2 – более поздние наложенные структуры платформ; 3 – границы древних платформ; 4 – месторождения и рудопроявления: 1 – Норильского района, 2 – Кольского полуострова, 3 – Воронежского кристаллического массива (ВКМ), 4 – Северного Прибайкалья, 5 – Камчатки, 6 – Финляндии, 7 – комплекса Дулут, 8 – Стиллутотер, 9 – Садбери, 10 – Абитиби, 11 – Линн-Лейк, 12 – пояса Томпсон, 13 – пояса Кейп Смит, 14 – Войсис Бэй, 15 – Бушвельда, 16 – Великой Дайки, 17 – Шангани, Дамба, 18 – Инсизвы, 19 – Сычуань, 20 – Джинчуань, 21 – Западной Австралии

Т а б л и ц а 1
 Главнейшие типы платиносодержащих сульфидно-никелевых РМС и связанных с ними месторождений

Геодинамические режимы	Типы магмородулоконтролирующих структур	Типы рудоносных магматических формаций (РМФ)	Пертохимические типы сульфидно-никелевых РМС				Примеры рудных районов и месторождений	
			MgO	Ni:Cu	Pt/Pd	$\delta^{34}\text{S}\%$		
1	2	3	4	5				9
Платформенный (кратонный)	Континентальные рифты, в т.ч. тройного сочленения	Пикрит-базальтовая (трапшовая, платобазальтовая)	Дифференцированных пикрит-габбро-долеритовых тел (норильский тип)	1. Норильско-талнахский умеренно-магнезиальный никелево-медный				Норильск-Талнах (Россия), Инсизва (ЮАР), Маскокс (Канада)
				10-16 1-30	0,5-1	0,1-0,4	7-9	
Раннеплатформенный (кратонный)	Внутриконтинентальные рифты	Пикрит-платобазальтовая	Габбро-проктолитовых интрузий и даек	6-10 4-12				Бойсис Бэй (Канада)
				1-3	0,3-1	-4 - 0		
Орогенный	Внутриконтинентальные рифты зоны протоматической активизации	Пикрит-базальтовая	Дифференцированных габбро-проктолитовых комплексов и силлов (дулутский тип)	2. Дулутский мало-умеренно-магнезиальный, никелево-медный				Дулут (США)
				8-10 1-20	0,1-0,4	0,1-0,4	12-16	
	Подвижные зоны, разломы, зоны тектономагматической активизации	Нагриевых базальтов; андезитобазальтовая; габбро-диабазовая; трахибазальтовая	Дунит-гарцбургитовая; дунит-пироксенит-габбро-норитовая; норит-кортландитовая и др.	4. Аппалачский , роновский повышено-магнезиальный медно-никелевый				Рона (Норвегия), месторождения Аппалачей, Мокси (США); Северное Прибайкалье, Кувалорог (Россия)
				5-25 2-40	1-4	0,4-1	-	
	Реактивизированные рифтогенные пояса (континентальные)	Пикрит-базальтовая (базальт-риодацитовая)	Габбро-клинопироксенит-верлитовая (печенгский тип)	5. Печенгский повышено-магнезиальный, медно-никелевый				Печенга (Россия), Пояс Котлахти (Финляндия), Кейп Смит (Канада), Джинчуань (Китай)
				18-25 5-35	2-5	1-2	2-4	
Протоплатформенный (прогрессирующей стабилизации)	Зоны автономной протоктивизации, реактивизированные рифтогенные зоны	Ортопироксенит-норит – диоритовых субвулканических тел (еланский тип)	Ортопироксенит-норит – диоритовых плутонов (садберийский тип)	6.1. Еланский маломagneзиальный никелевый				Елань, Ёлка, Шануч (Россия)
				4-12 2-24	5-40	0,5-1,5	-1..-12	
	Импактная структура	Импактный расплав	Норит-диоритовых плутонов (садберийский тип)	6.2. Садберийский гибридный низкомагнезиальный, медно-никелевый				Садбери (Канада)
				2-6 2-16	1-3	0,6-1	0,5-3	
	Зоны рассеянного спрединг с крайне ограниченным латеральным растяжением	Импактный расплав	Дунит-перидотит-габбро-норитовая (мамонский тип)	7. Мамонский повышено-магнезиальный, медно-никелевый				Мамон, Юбилейное (Россия), Линн-Лейк (Канада)
				20-25 3-35	2-3	1-2	1-4	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Протоактивизации	Кратоны, рифтинги кратонов, протогорифты	Высокомагнезиальных андезитобазальтов и пикритобазальтов	Норит-ортопироксенит-перидотитовая (мончегорский и бушвельдский типы)	8. Мончегорский, бушвельдский магнезиальный, собственно медно-никелевый 15-20 1-40	1-3	0,2-2	1-2 -6..-9	Мончегорск (Россия), Бушвельд, В. Дайка (Африка), Стиллиуотер (США)
Энсиалического рифтогенеза (протогеосин-клинальный)	Рифтогенные и линейные зоны повышенной проницаемости («верхние» зеленокаменные пояса)		Дунит-перидотитовая (гарцбургитовая), габбронорит-перидотитовая (маунткейский и аллареченский типы)	9.1. Маунткейский ультрамагнезиальный высоконикелистый 28-33 20-50	25-75	1,5	-3..+3	1. Маунт Кейт (Австралия), Дьюмонт (Канада), Аллареченское (Россия)
				9.2. Камбалдийский высокомагнезиальный медисто-никелевый 25-28 20-45	5-25	1,5	-3..+5	2. Камбалда (Австр.), Абтиби (Канада), Шангани (Африка)
Пермобильный (нуклеократонизации)	Ареальные вулканотектонические структуры и магмоподводящие линейаменты («нижние» зеленокаменные пояса)	Коматитит-базальтовая (камбалдийский тип)	Перидотит-пироксенит-габброноритовая (маншолл-ловноозерский тип)	10.1. Маншолл-ловноозерский (?) повышенно-магнезиальный медно-никелевый				1. Ман-Шолл (Австралия), Ловноозеро (Россия)
				10.2. Рут-уэлловский высокомагнезиальный медисто-никелевый 20-30 5-45	3-20	~1	1..5	2. Рут-Уэлл (Австралия)

Примечание: авторская классификация [36, 37, 39] дополнена данными других авторов [19, 24]. MgO – масс. %, числитель – пределы изменения среднеземных содержаний, знаменатель – пределы изменений содержаний в РМС

Полигенность условий формирования и пространственно-генетическая связь сульфидного платиноидно-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 многообразие формационно-генетических типов месторождений и рудопроявлений, поливариантный характер распределения количественных содержаний благородных (платиноиды) и цветных (Ni, Cu, Co) металлов и соотношений их ассоциаций с лито- и сидерофильными элементами [36, 37, 39]. Эти же факторы определяют минералого-геохимический облик, масштабы и степень продуктивности всей рудообразующей системы, включая дайковые образования [40, 44, 46].

2. Петролого-генетические и структурно-морфологические типы даек

В составе разнотипных никель-платиноносных РМС выделяется три группы даек, различных по структурно-петрологической принадлежности, возрасту и месту в общей длительной эволюции сульфидных платиноидно-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; [1, 13, 42, 46]); б) внутриинтрузивными (интрамагматическими) жильными отщеплениями интеркумулусного расплава и продуктами неоднократно поступающих в конечную камеру магм с образованием автономно кристаллизующихся петрорудосистем [45]. К третьей группе относятся разнообразные по составу, формационной принадлежности и возрасту дайки более поздних магматических комплексов, а также гетерогенные по своей природе и составу лампрофиры [41, 45].

По особенностям внутреннего строения среди даек никель-платиноносных комплексов и ассоциирующихся с ними месторождений выделяются две

группы: а) простые, петрографически однородные; б) сложные, преимущественно многократного внедрения и петрографически неоднородные, вследствие инъекции расплавов различного состава и его дифференциации, связанных с одним или несколькими разновозрастными магматическими источниками (пространственно совмещенные – производное разновозрастных магматических комплексов [45]).

2.1. Группа даек – подводных каналов (проводников) РМС

Как отмечалось, эта группа выступает в качестве подводных нередко длительно функционирующих каналов с неоднократным поступлением новых порций сульфидизированных расплавов в конечную камеру, определяя тем самым состав условия формирования интрузивов и ассоциирующихся с ними сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений. Нередко подобные питающие дайки являются определяющим рудонесущим компонентом сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС. Эта группа в разной мере проявлена по-существу в большинстве выделенных типов РМС.

С силлами и дайкообразными телами, выступающими в качестве подводных длительно функционирующих каналов комагматического расплава, предполагается генетическая связь сульфидных месторождений (Ланнон, Фишер, Джуан, Мак-Матон, Кеп), размещающиеся в архейском куполе Камбалда (Зап. Австралия) и характеризующиеся подчас высокими содержаниями Ni – до 14 %, Cu – 1,16 %, Co – 0,31 %, Pt – 1,4–1,8 г/т, Pd – 1,61–2,2 г/т [23]. Эруптивные центры, сопровождающиеся сульфидным оруденением, рассматриваются в качестве лавовых каналов в областях раннепротерозойского магматизма Канады (месторождение Дюмонт в Квебеке; ряд месторождений в никелевом поясе Томпсон [24, 54, 56, 57, 63]).

В месторождении Грейт Лейкс Никел (озеро Верхнее, шт. Онтарио, США), сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды в дифференцированных габброидах (нориты, анортозиты, оливиновые нориты, пегматоидные габбро) «сливаются» с дайкой рудоносных пикритов. Эта комбинация дайки и интрузии рассматривается в качестве магматического проводника и подобно минерализованным питающим дайкам (проводникам) Норильского района, положение которых наиболее полно отражено на модели (см. далее рис. 2), предложенной [24, 75]. Медно-никелевая минерализация характерна для многих, в том числе дифференцированных габбро-долеритов даек и Центрального Таймыра [9, 19].

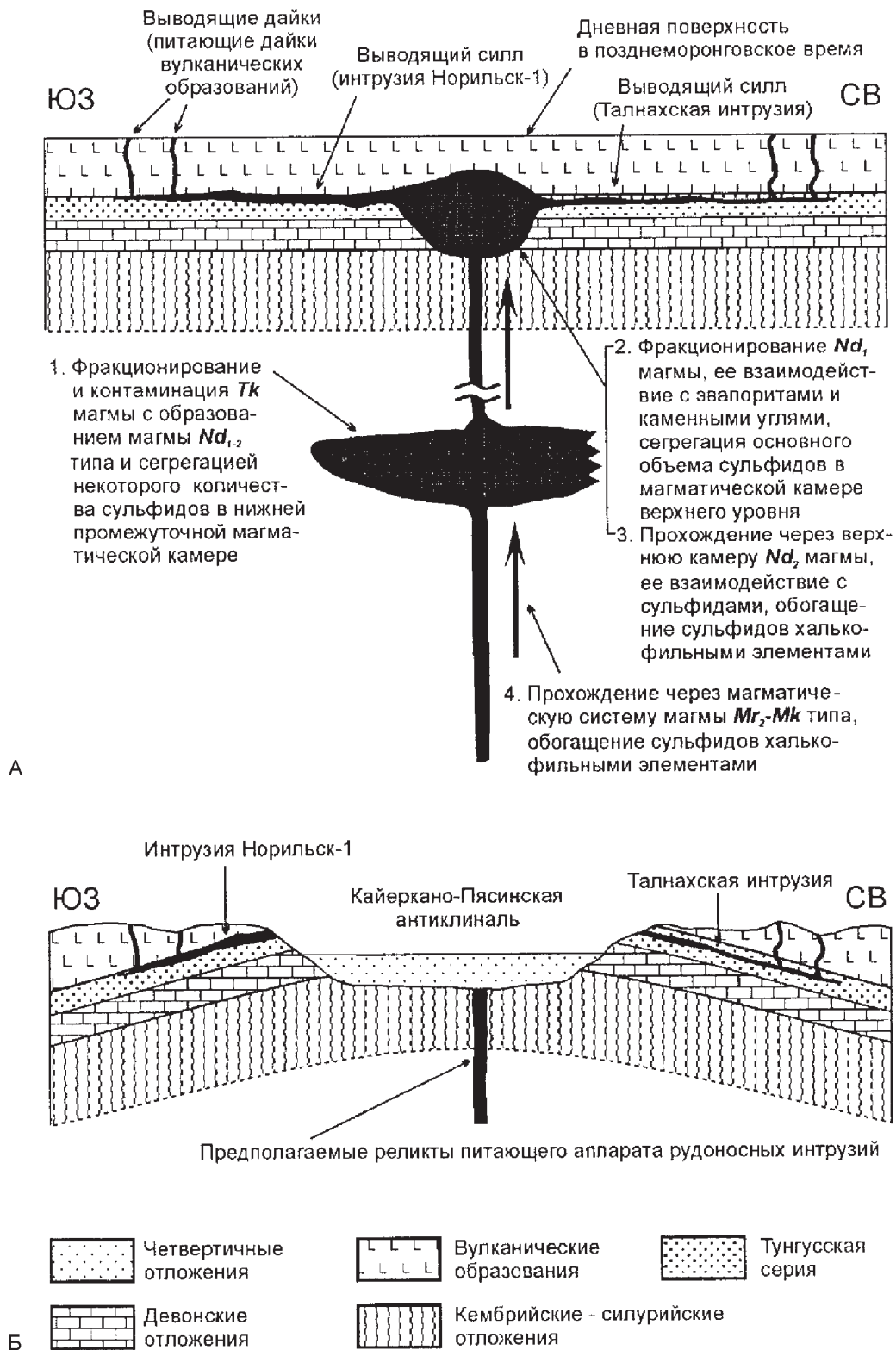


Рис. 2. А – модель развития магматической системы центральной части Норильского района в туклонское (Тк), надеждинское (Nd) и моронговское (Mr) время, представленная в виде геологического разреза. Б – схематический геологический разрез после тектогенеза и эрозии (современный структурный план). Вертикальный масштаб разрезов сильно преувеличен относительно горизонтального (по [24])

Одним из наиболее типичных примеров проявления питающих дайкообразных тел – магматических рудонесущих каналов является месторождение Войсис Бэй (Лабрадор, Канада). Месторождение связано с обнажённой, сложной по морфологии, нижнепротерозойской интрузией и включает пять зон (рудных тел), четыре из которых (Овоид, Миниовоид, Холм Открытия, Рид Брук) непосредственно приурочены к питающему магматическому проводнику (рис. 3).

Овоид, располагающийся в верхней эродированной части проводника, сложен массивными сульфидными платиноидно-медно-никелевыми рудами, которые перекрыты четвертичными отложениями. К западу от Овоида располагается Миниовоид, который представляет собой раздув типичного магматического проводника (рис. 4). В расширенной и более глубокой части рудонесущего канала располагаются руды Холма Открытия (см. далее рис. 5) и Рид Брук (см рис. 3). Химические составы различных типов руд приведены в табл. 2 (см. далее).

На данной стадии изучения (месторождение открыто в 1993 г.) обосновывается модель [24, 71, 73] двоекратного поступления через магматический проводник расплава, при этом на ранних стадиях пикритовая по своему составу рудонесущая магма, взаимодействующая с вмещающими парагнейсами, приводила к сегрегации сульфидов и формированию магматических брекчий и такситовых троктолитов. С последующим поступлением свежей магмы связано формирование сульфидных рудных залежей в пределах и вблизи магматического проводника. По мере продвижения обогащенной халькофильными элементами свежей магмы по тому же проводнику она взаимодействовала с сульфидами, захваченными в гидротермических ловушках и обогащала их Ni, Cu, Co и благородными металлами.

С дайкообразными дифференцированными (от дунитов в центре до оливиновых пироксенитов в краевой зоне) телом, протяжённостью около 6 км при средней ширине (мощности) 300 м, связано месторождение Джинчуан (Китай), которое является третьим в мире (после Норильского района и Садбери) по запасам Ni и Cu. В пределах месторождения, сформировавшегося в период 1,7–1,3 млрд лет, выделяется три вертикально залегающих рудных залежи

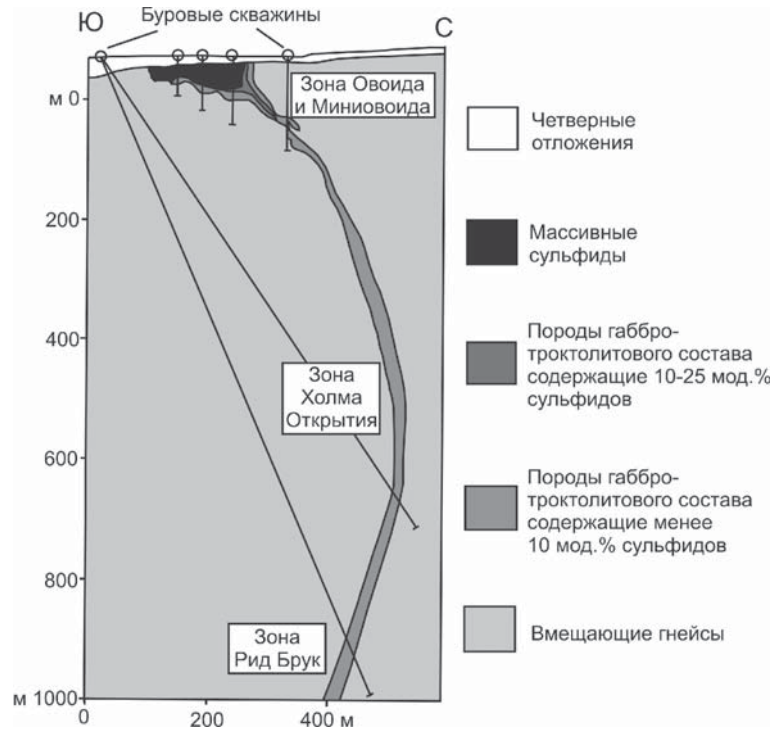


Рис. 3. Обобщённый геологический разрез, отображающий морфологию магматического проводника в зонах Овоида, Миниовоида, Холма Открытия и Рид Брук (по [65], с изменениями; [24])

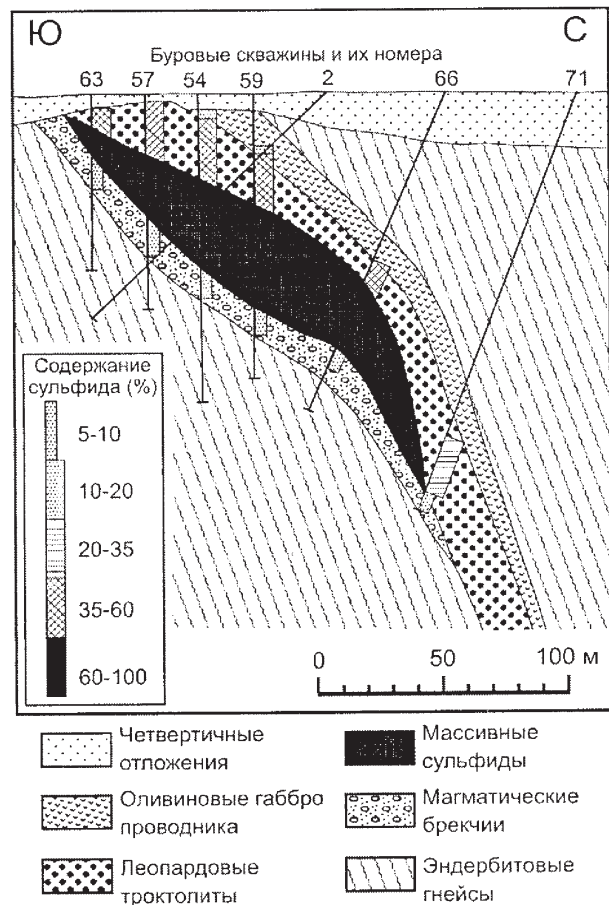


Рис. 4. Геологический разрез Миниовоида (по [70], с изменениями; [24])

Средние химические составы руд месторождения Войсис Бэй (по [24])

Типы руд Зоны месторождения	К-во обр.	S	Ni	Cu	Co	Pd	Pt	Rh	Ru	Ir	Os	Au	Pd/Pt
<i>Массивные руды</i>													
Миниовоид	11	35,65	3,72	2,16	0,18	208	166	8	16	2,3	4	109	1,25
Зона Холма Открытия	1	36,60	2,50	1,02		73	25	9		1,9		36	2,98
Зона Рид Брук	15	37,01	2,84	1,11		97	28	10	11	2,8	4	40	3,42
<i>Леопардовые руды</i>													
Миниовоид	7	13,64	1,42	0,90	0,07	78	70	4	5	1,0	2	73	1,11
Зона Холма Открытия	18	13,09	1,16	1,28	0,06	77	76	3	9	0,7	1	77	1,01
Зона Рид Брук	9	12,32	1,04	0,69		41	45	3	7	0,8	1	55	0,92
<i>Руды магматических брекчий</i>													
Миниовоид	1	15,30	1,24	1,12	0,06	25	112	4	4	1,1	2	31	0,22
Зона Холма Открытия	34	7,16	0,75	0,39	0,06	63	40	2	6	0,6	1	47	1,56
Зона Рид Брук	23	5,86	0,59	0,30		40	25	2	6	0,5	1	29	1,58

Примечание: содержания S, Ni, Cu, Co – вес. %; Pd, Pt, Rh, Ru, Os, Ir, Au – мг/т (ppb)

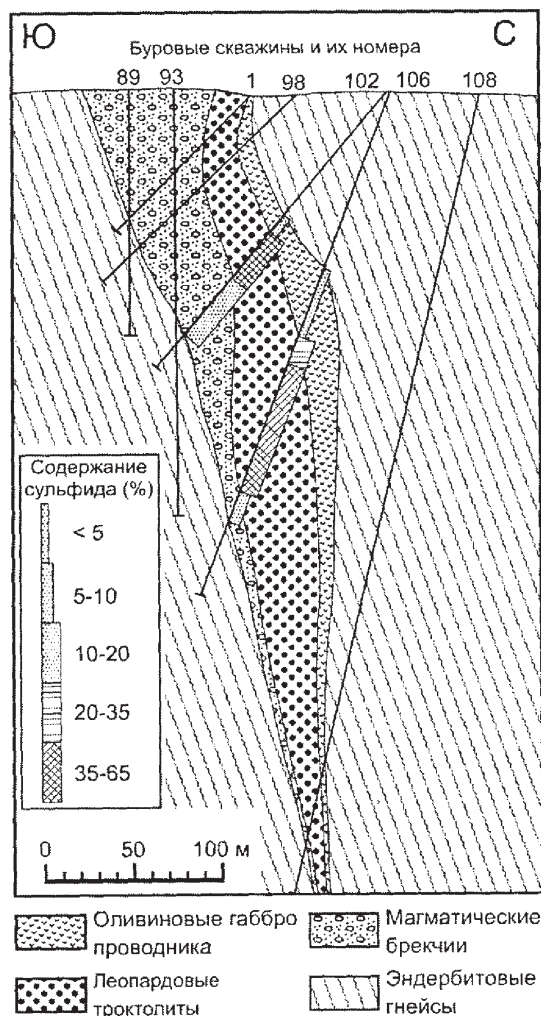


Рис. 5. Геологический разрез зоны Холма Открытия ([70, 71], с изменениями [24])

протяжённостью от 1000 до 1600 м при мощности 100–200 м, сложенные преимущественно вкрапленными и сетчатыми рудами (Ni = 0,8–4 вес. %, Cu = 0,6–1,7 %, ЭПГ до 1 г/т), которые нередко содержат шпильеры и сопровождаются секущими жилами (мощностью 1–5 м) массивных руд (Ni = 4–9 вес. %, ЭПГ от 2,4 до >9 г/т). Считают [24], что важную роль в формировании наблюдаемой на месторождении зональности играл процесс дифференциации течения, при котором, согласно Barker (1983), зёрна высокоплотных минералов концентрируются вблизи центра магматического проводника (рис. 6), при этом допускается неоднократное течение вверх по проводнику свежей магмы, которая постоянно входила в контакт с ранними сульфидными, взвешенными в воронках, и обогащала их халькофильными металлами. Наиболее богатыми сульфидами оказались осевые части рудных тел. Т. Налдретт подчеркивает, что «... этот процесс был

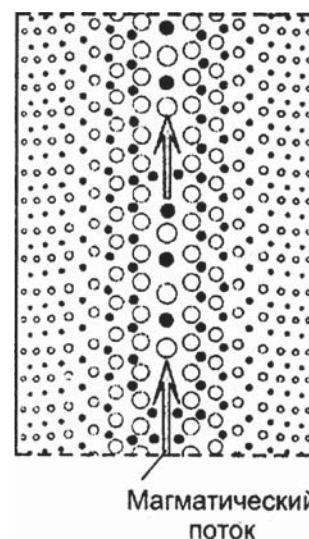


Рис. 6. Модель дифференциации течения при формировании месторождения Джинчуан (по [53])

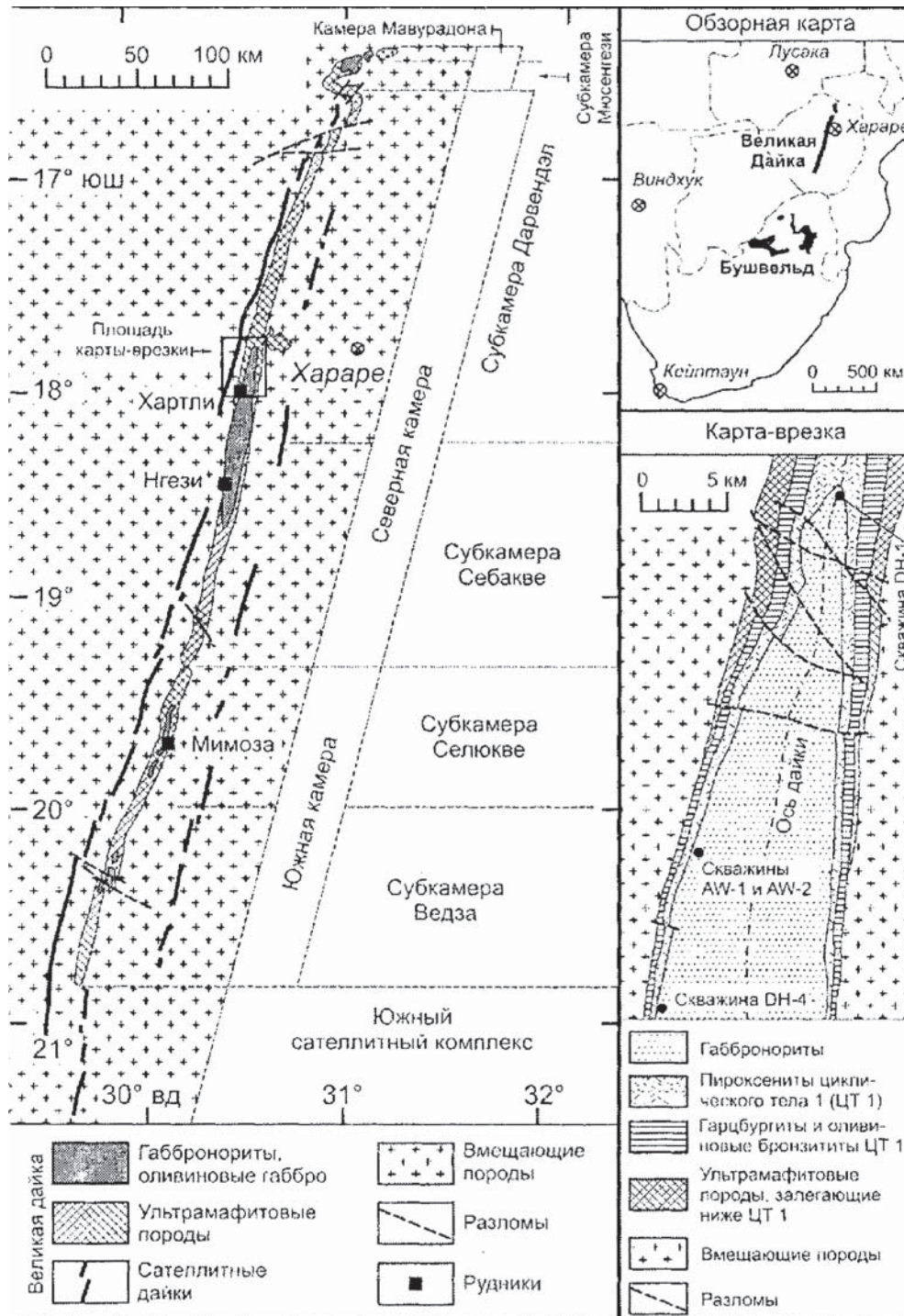


Рис. 7. Схематическая геологическая карта Великой Дайки Зимбабве с врезкой, где показано строение южной части субкамеры Дарвендэл [24, 79, 80]

магмы через проводник, где находились сульфиды, увеличивал содержание металлов в сульфиды...» [24, с. 272].

К числу гигантских по степени продуктивности и масштабам (протяжённость 550 км при ширине от 4 до 11 км), несомненно, относится Великая Дайка (Зимбабве), которая представляет собой

расслоенное тело ультрамафит-мафитового состава, сформировавшееся в позднем архее 2579 ± 7 млн лет назад. По простиранию Великая Дайка подразделяется на несколько камер с подчиненными им субкамерами (рис. 7), которые обособлены на основе структуры тела и характера расслоенности пород [79, 80]. В вертикальном разрезе выделяется

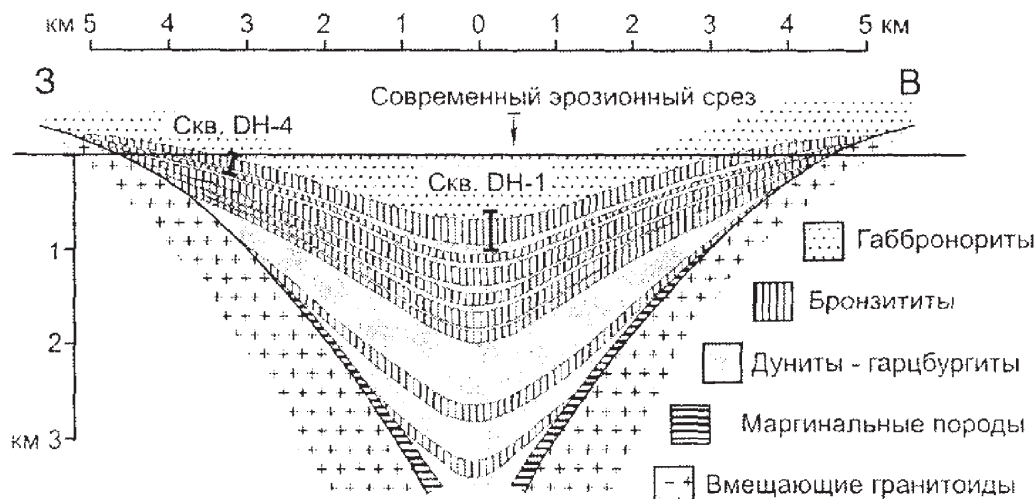


Рис. 8. Обобщенный поперечный геологический разрез Великой Дайки в южной части субкамеры Дарвендэл [79]. Расположение буровых скважин показано на рис. 7

нижняя ультрамафитовая серия (мощностью более 2000 м), представленная дунитами, гарцбургитами и пироксенитами (бронзититами) с прослоями хромититов, и верхняя мафитовая серия (мощностью до 1120 м). Мощность обеих серий является максимальной в наиболее крупной субкамере Дарвендэл, которая в поперечном разрезе имеет форму раструба с погружением слоев по направлению к оси тела (рис. 8).

Предполагается, что цикличность обусловлена периодическими поступлениями в интрузивные камеры свежей магмы одного и того же состава, которая представляла собой высокомагнезиальный расплав, содержащий около 15 вес. % MgO. Согласно интерпретации [79], каждая из субкамер имела автономную питающую систему. В начале своего формирования Великая Дайка была прерывистой. Затем, по мере того, как происходили новые и новые внедрения магмы, отрезки дайки сближались и, наконец, объединились в единое тело. По обе стороны главной трещины, контролирующей Главное тело Великой Дайки, параллельно ей развиты трещины-сателлиты, по которым внедрены маломощные дайки сходного возраста и состава (см. рис. 8).

Основное платинометалльное оруденение связано с двумя сульфидными зонами – Главной и

Нижней, которые располагаются ниже габбро и оливиновых габбро верхней части внутри ортопироксенита (бронзитита). Мощность последнего варьирует от 1 до 15 м в Главной сульфидной зоне и от 30 до 80 м для Нижней, при этом содержание Ru, Ir, Os, Pd, Rh, Pt и Au увеличивается от краевой к центральной части (табл. 3).

2.2. Группа даек, сопряжённых со становлением интрузивных массивов в конечных камерах

Различные по составу, масштабам и степени проявления дайки этой группы являются важнейшим структурно-вещественным компонентом разнотипных сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС, связанных преимущественно со становлением интрузивных массивов в конечных камерах. Являясь их производными они представлены: а) дайками – апофизами интрузивных эквивалентов (разнообразными по составу дифференциатами) во вмещающих породах (перимагматические дайки; [1, 13, 41, 45]); б) внутриинтрузивными жильными отщеплениями интеркумулусного расплава автономно кристаллизующихся петрорудосистем [20, 45].

Дайки – апофизы, в том числе рудоносные, характерны для большинства главных типов сульфидных платиносодержащих медно-никелевых РМС [7, 11, 14, 15, 16, 17, 19, 23, 24, 33, 42, 45]. Среди

Т а б л и ц а 3

Содержания ЭПГ и Au (г/т) в 100-процентном сульфиде Главной сульфидной зоны Великой Дайки Зимбабве в краевой (скв. ДН-4) и осевой (скв. ДН-1; см. рис. 8) частях интрузии (по [24])

	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Os	Au
Краевая часть (максимум по скв. ДН-4)	94.90	97.60	8.90	6.40	3.36	0.99	14.20
Осевая часть (среднее по скв. ДН-1)	194.10	255.50	22.20	21.20	8.80	2.59	15.40

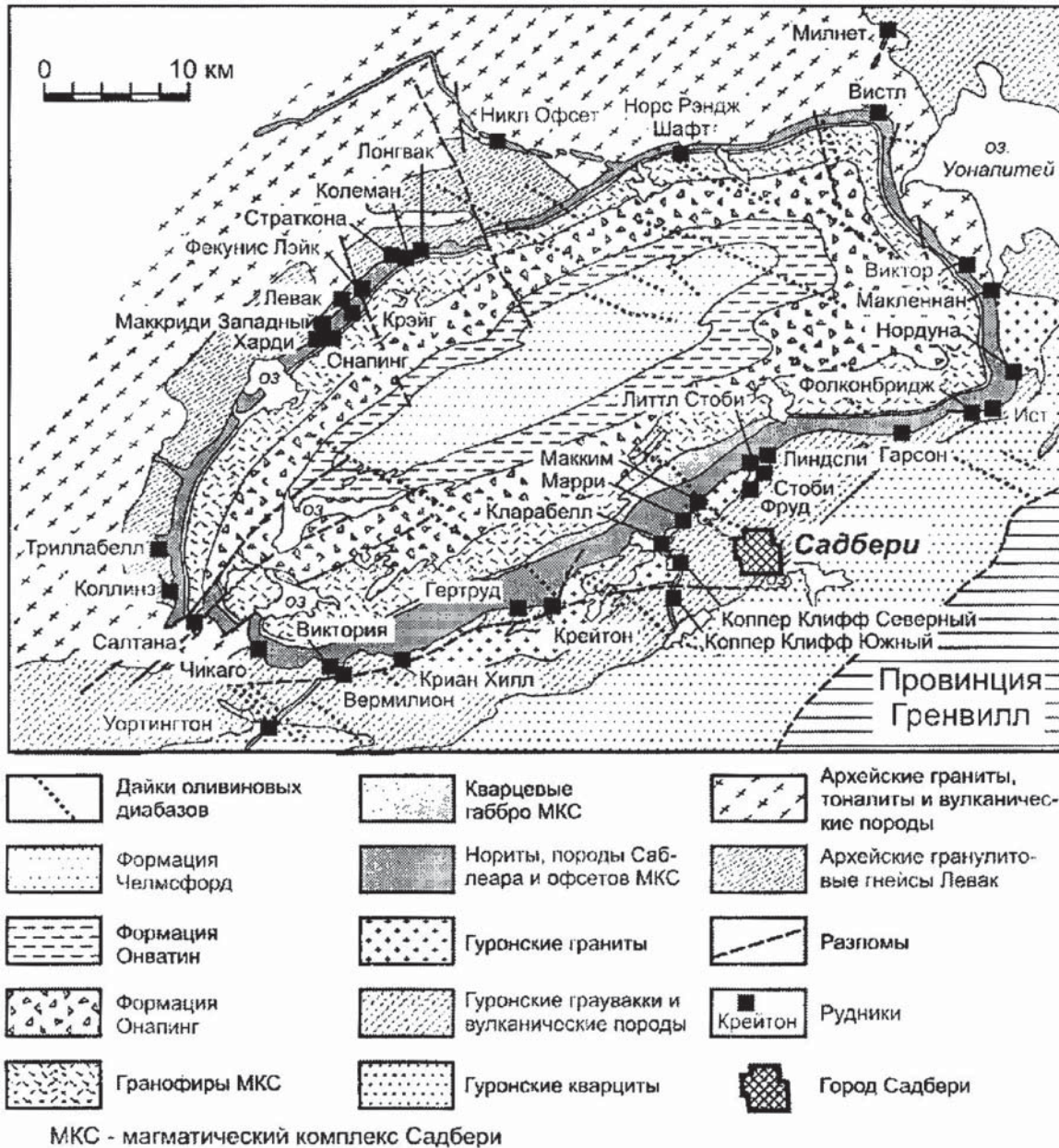


Рис. 9. Геологическая карта района Садбери [24]

уникальных по масштабам проявления и рудонесущей роли особое место занимают дайки – апофизы, получившие название офсетов Садбери (Канада, шт. Онтарио), импактного по своей природе и крупнейшего по запасам цветных и благородных металлов месторождения. Рудонесущий магматический комплекс Садбери (МКС) представляет собой расслоенную интрузию с возрастом 1,85 млрд лет. Нижняя часть интрузивного тела сложена кварцсодержащими норитами; выше залегают кварцевые габбро. В верхней части – мощные гранофиры. МКС расположен в пределах Канадского щита в зоне контакта архейских (2,5 млрд лет) и нижнепротерозойских (гуронских) образований. Геологическое строение представ-

лено на рис. 9. В современном тектоническом плане комплекс Садбери и перекрывающие образования представлены серией концентрических тел эллипсоидной формы, погружающейся к центру комплекса. Структура в целом имеет форму бассейна.

К числу пород, формирование которых непосредственно связано со становлением комплекса Садбери, относятся (в порядке последовательности их образования): брекчия Садбери, брекчия Футволл, формация Онапинг и собственно магматический комплекс Садбери.

Брекчия Садбери, представленная обломками вмещающих пород, развита в экзоконтакте МКС или на значительном (до 20 км) удалении от него в виде

даек и тел неправильной формы, которые прорезают все породы, предшествующие комплексу Садбери. Брекчия Футволл образована обломками вмещающих пород с небольшим участием обломков ультрамафитовых пород и норитов. Формация Онапинг тоже представлена брекчиями плавления. Магматический комплекс Садбери, залегающий между брекчиями Футволл и формацией Онапинг, включает: 1) главное тело, состоящее из: а) приконтактных пород (мафитовые и кварцевые нориты); б) фельзитовых пород; в) кварцевых габбро; г) гранофилов; 2) залегающие вокруг главного тела МКС тела Саблеара (мелкозернистые нориты и габбро); 3) офсеты (рудонесущие дайки).

Офсеты представляют собой дайки и дайкоподобные тела, расположенные радиально, в некоторых случаях концентрически по отношению к главному телу МКС (рис. 10). Они удаляются на расстояние до 20 км от главного тела, обычно имея ширину (мощность) 70–100 м. Офсеты, как правило, сложены кварцевыми диоритами (от гиперстеновых до биотитовых), переходы между которыми являются постепенными. Вариации состава объясняются различной степенью контаминированности пород. Согласно Lightfoot et al. (1997a), кварцевые диориты офсета представляют собой мелкозернистые до среднезернистых, равномерно и неравномерно зернистые породы, сложенные мафитовыми минералами (45–55%), плагиоклазом (30–45%) и кварцем (5–15%) с небольшим количеством Q–P1 гранофиловых сростков и непрозрачных минералов.

Месторождения офсетов локализованы в образующих их дайках габбро-диоритов. Типичным является офсет Копер Клифф, который удаляется, по крайней мере, на 10 км от главного тела МКС в виде относительно маломощной (50–150 м) дайки (рис. 11). Рудные зоны представляют собой круто падающие линзовидные тела массивных и интерстиционных руд, развитые в местах, где габбро-диориты содержат большое количество породных включений (габбро, метапироксениты и метаперидотиты, нориты и кварцевые диориты МКС). Предполагается, что сульфидсодержащий, обогащенный включениями материал был внедрен позднее, чем кварцевые диориты, составляющие основной объем офсета [24].



Рис. 10. Распространение даек офсетов в магматическом комплексе Садбери [24, 72]

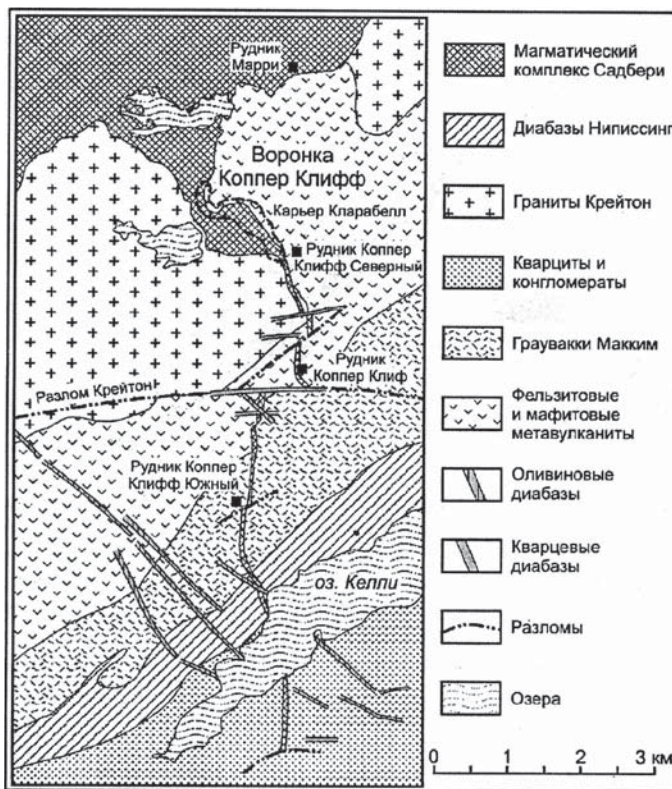


Рис. 11. Геологическая карта [62] района офсета Копер Клифф (Южный Рендж Садбери)

Средние содержания Ni, Cu, Pt и Pd в рудах некоторых месторождений офсетов Садбери в пересчёте на 100-процентный сульфид по данным [24, 66, 73]

Месторождение	Ni (вес. %)	Cu (вес. %)	Pt (г/т)	Pd (г/т)
Кларабелл	6,5	6,8	5,4	7,0
Коппер Клифф Северный	5,3	7,7	6,4	5,9
Коппер Клифф Южный	5,8	10,7	9,7	10,6
Тоттен-Уортингтон	6,2	12,8	13,8	15,0
Фой	3,2	2,6	0,6	0,6
Стоби	3,4	3,5	1,7	1,6
Фруд	3,5	4,2	1,8	1,7

Крупнейшим является месторождение Фруд-Стоби, где офсет располагается не радиально, а параллельно по отношению к южному контакту МКС (см. рис. 9, 10, 11). В плане офсет представляет собой дайку с максимальной мощностью 275 м, а в вертикальном сечении – направленный вниз клин, круто погружающийся к северу. В месторождении представлены массивные и вкрапленные руды. Массивные руды, содержащие породные включения, концентрируются у контактов клина и в нижней части месторождения: верхняя часть рудного тела образована сульфидами, вкрапленными в кварцевых диоритах. Кварцевые диориты здесь тоже содержат включения, подобные находящимся в офсете Копер Клифф. В табл. 4 приведены средние содержания Ni, Cu, Pt и Pd в рудах некоторых месторождений в дайках офсетов.

Подобно другим сульфидным платиноидно-медно-никелевым РМС, руды в дайковых образованиях по минеральному составу комплементарны другим типам месторождений Садбери и представлены [24, 58, 59, 74]: а) главными (пирротин гексагональный и моноклинный, пентландит, халькопирит, пирит, магнетит); б) второстепенными (кубанит, галенит, сфалерит, миллерит, никелин, герсфордит, кобальтин); в) аксессуарными (самородные Au, Ag, Bi, гессит, тетрадимит, маухерит, борнит, алтаит, арген-

топентландит, макинавит и др.); г) минералами платиновой группы (майнерит, сперрилит, инсизваит, сэдберит, фрудит, котульскит, нигглиит, меренскит, мертиит).

Обобщённая модель развития рудонесущих офсетных даек Садбери приведена в работах [24, 72]. В соответствии с этой моделью при ударе метеорита возник короткоживущий кратер глубиной 40 км и диаметром 60 км. Следствием удара явилось образование некоторых тел брекчии Садбери, вдавленных в породы мишени с плавлением последних, при этом значительную часть расплава составил материал гуронской мафит-ультрамафитовой интрузии. В карманах подошвы МКС расплав был обогащён компонентами подстилающих пород и включал их нерасплавленные обломки. Внедряясь в трещины вмещающих пород, первичный импактный расплав образовал офсетные дайки (рис. 12).

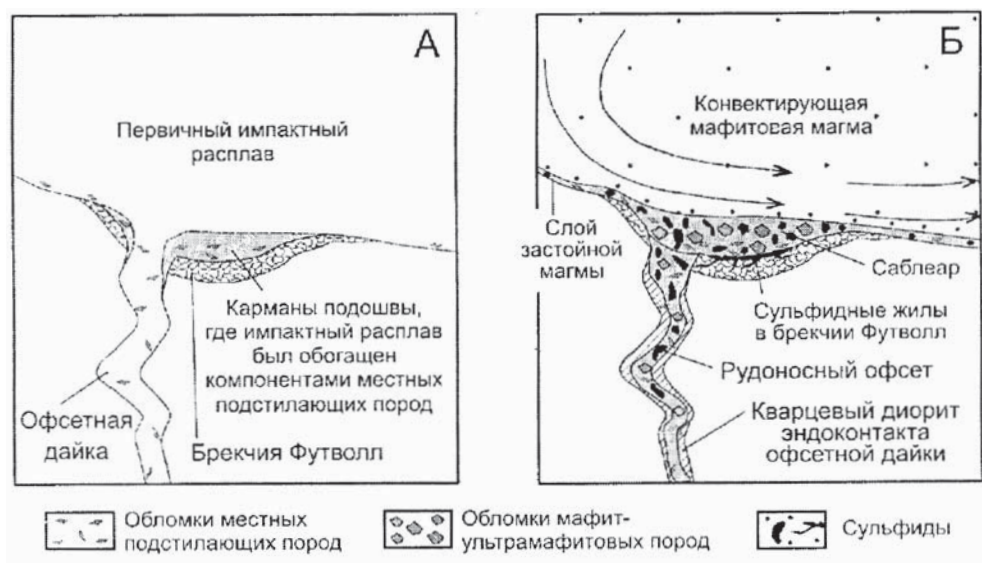


Рис. 12. Модель развития Саблеара и офсетной дайки при зарождении магматического комплекса Садбери (А) и при накоплении сульфидов (Б) [24, 72]

Характерной особенностью платиносодержащих сульфидных медно-никелевых РМС является постоянное присутствие среди рассматриваемой группы жильных образований интрамагматических даек, связанных не только с дополнительным (подчас неоднократным) поступлением в конечную интрузивную камеру более поздних порций магм, но и возникающих за счёт обогащенного флюидами и металлами интеркумулусного расплава при становлении дифференцированных плутонов и автономном развитии самостоятельных петрорудогенетических систем единых длительно развивающихся рудно-магматических колонны или очаговых зон.

К этой группе относится ряд внутриинтрузивных (интрамагматических) даек Мончегорского плутона [16, 28, 52]. Помимо пегматоидных жильных образований с сульфидной медно-никелевой минерализацией, встречающихся по всему разрезу плутона, на месторождениях Сопча и НКТ, многие из богатых по содержанию Ni, Cu, Co и благородных металлов рудных жил (табл. 5) переходят в диорит-пегматиты интеркумулусной природы, при этом парагенезис рудообразующих минералов аналогичен минералам основных залежей сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений (пирротин, пентландит, халькопирит, магнетит, пирит, кубанит, маккинавит, галенит, сфалерит, милерит, теллуровисмутит, алтаит, минералы платиновой группы).

В поле рудоносной интрузии Норильск I описана дайка мощностью 8–20 метров, состоящая из контактового габбро-долерита и такситового габбро-долерита с сульфидной медно-никелевой минерализацией. Здесь же присутствуют эруптивные дайки [19].

Комплекс Бушвелд (возраст 2060 млн лет) в Южной Африке – один из крупнейших в мире многофазный мафит-ультрамафитовый дифференцированный (ритмично-расслоенный) плутон с рядом автономных платиносодержащих (хромитовая, сульфидная медно-никелевая, титаномагнетитовая, малосульфидная собственно платинометалльная) петрорудосистем. Мощная (около 10 км)

расслоенная серия (серия Ростенбург) сопровождается многочисленными, разнообразными по составу рудонесущими силами, дайками, своеобразными вертикально залегающими пегматоидными трубками (дунитовые и гортонолитовые платиноносные трубки Онвервах, Мооихек, Дрископ, никеленосные сульфидосодержащие бронзититовые типа Твифонтейн, диаллатитовые, магнетитовые и др.). Размер трубок изменяется от десятков и сотен метров до и 1 км и более в поперечнике и до сотен метров по глубине. Существующие представления об их формационно-генетической природе неоднозначны: от метасоматического генезиса до доминирующего магматического и флюидно-магматического в виде самостоятельных неоднократных инъекций в процессе становления плутона [19, 60, 68, 78].

В ультрамафит-мафитовом комплексе Лак дес Ил (Канада, шт. Онтарио) в платиноносном интрузивном субкомплексе широко развиты интрамагматические секущие тела такситовых габбро, переходящие в пегматоидные лейкогаббро, которые в свою очередь пересекаются жилами габбровых пегматитов и пегматитов. Крупнейшая рудоносная зона – зона Роби, локализована главным образом в такситовых габбро. Однако наиболее высокие концентрации платиноидов и золота связаны с жильными телами габбровых пегматитов (до 35 г/т ЭПГ и Au), при этом Pt, Pd и Au коррелируются с сульфидной фазой [24, 57].

3. Рудонесущие дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС мамонского и еланского типов

Сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды, ассоциирующие с ультрамафитами и мафитами и совместно с ними образующие единые длительно развивающиеся рудномагматические системы (РМС), в пределах ВКМ встречаются во всех структурно-вещественных комплексах, сформировавшихся в условиях раннеархейской нуклеократонизации (бесединский тип РМС), энсиалического рифтогенеза позднего архея (олимпийский тип),

Т а б л и ц а 5

Среднее содержание цветных (мас. %) и благородных (г/т) металлов в сульфидной фазе жильных медно-никелевых руд месторождений Сопча и НКТ Мончегорского плутона [52]

Месторождение, руды	Ni	Cu	Co	S	Pt	Pd	Rh	Ru	Ir	Os	Au	Ag	Ni/Cu	Pt/Pd
НКТ, главное жильное поле	6,14	2,75	0,23	37,5	0,76	6,10	0,44	0,04	0,04	0,013	0,27	7,12	2,23	0,12
НКТ, гтлубинные медные	2,82	24,6	0,10	36,5	22,4	53,7	0,07	0,02	0,02	0,013	4,09	257,1	0,11	0,42
Сопча, жильное поле	15,2	1,25	0,68	39,6	1,22	9,36	0,25	0,03	0,12	0,04	0,12	3,65	12,2	0,13

рассеянного спрединга и реактивизации позд-неархейских структур, сопровождавшего процесс субдукции Хоперского и Курского мегаблоков (мамонский и еланский типы), постколлизийного (шукавский тип) и раннеплатформенного (смолодинско-новогольский тип) этапов формирования континентальной коры [39, 40]. Их положение в структуре ВКМ приведено на рис. 13.

При достаточно широком проявлении в докембрийском фундаменте Воронежского кристаллического массива (ВКМ) разномаштабного сульфидного платиноидно-медно-никелевого оруденения, наиболее важные в промышленном отношении месторождения и многочисленные рудопроявления связаны лишь с многофазными интрузиями двух раннепротерозойских формаций [38, 39]: а) дунит-перидотит-пироксенит-габбро-норитовой зон рассеянного спрединга (мамонский комплекс; 2100 – 2080 ± 10 млн лет), б) субвулканической ортопироксенит-норит-диоритовой реактивизированных структур рифтогенного типа (еланский комплекс; 2065 – 2050 ± 14 млн лет). Пространственно они целиком располагаются в Хоперском мегаблоке. Исключительно высокая степень насыщения мегаблока ультрамафит-мафитовыми и мафитовыми интрузивно-дайковыми породными ассоциациями мамонского дунит-перидотит-габброноритового и еланского ортопироксенит-норитового комплексов 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 2100–2080±14 млн лет [47].

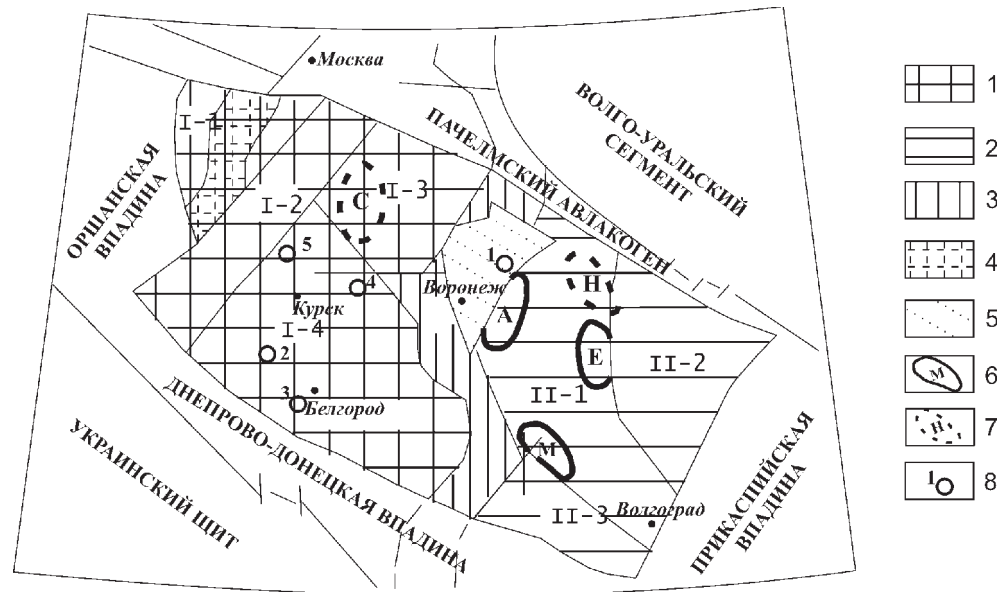


Рис. 13. Положение промышленных и потенциально рудоносных сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудных районов, месторождений и рудопроявлений на схеме структурно-формационного районирования ВКМ: I – мегаблок КМА (макроблоки: I-1 – Красногорско-Рославльский; I-2 – Брянский; I-3 – Ливенско-Ефремовский; I-4 – Курско-Белгородский); 2 – Хопёрский мегаблок (макроблоки: II-1 – Калач-Эртильский; II-2 – Камышинский; II-3 – Варваринский); 3 – Лосевская Шовная зона; 4 – Волинско-Двинский вулcano-плутонический пояс; 5 – Ольховско-Шукавская грабенсинклиналиальная структура; 6 – рудные районы промышленные: М – Мамонско-Подколodновский (Нижнемамонское, Подколodновское и Юбилейное месторождения; Артюховское, Бычковское, Пионерское, Ширяевское, Мартовское, Коммуническое, Северо-Бычковское и другие разномаштабные рудопроявления); А – Аннинский (Аннинское, Садовское, Вост.-Садовское, Моховское, Шишковское, Астаховское, Песковатское, Рябиновско-Большемартыновское разномаштабные проявления); Е – Елань-Коленовский (Еланское и Ёлкинское месторождения; Троицкое, Центральное, Уваровское и другие рудопроявления); 7 – потенциально рудоносные районы: Н – Новогольско-Жердевский; С – Смолодинский; 8 – разномаштабные рудопроявления шукавского (1), олимпийского (2, 3) и бесединского (4, 5) типов

Граничными признаками мамонского типа месторождений выступают [38, 39]: а) пространственно-генетическая связь руд с дифференцированными интрузивами с обширным сингенетически родственным рядом бесполовошпатовых высоко- и умеренномагнезиальных ультрамафитов и неоднократной повторяемостью в разрезе дифференциатов с различным сочетанием кумулюсных парагенезисов (оливин, орто- и клинопироксен), преимущественным накоплением рудообразующей сульфидной платиноидно-медно-никелевой фракции в составе интеркумуляуса и четким обособлением рудообразующей (Fe, Ni, Cu, Co, ЭПГ, S) ассоциации от силикатного (Si, Mg, Ca, Al) парагенезиса; б) согласное с элементами внутренней стратификации массивов залегание разномаштабных по протяженности (от 200–400 до 2200 м) и мощности (от 2–5 до 80 м) зон промышленного платиноидно-медно-никелевого оруденения, локализующегося в тех частях разреза,

которые наиболее обогащены оливином и характеризуются интенсивной флюидно-магматической расслоенностью с неоднократным чередованием дунитов, перидотитов и пироксенитов; в) 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 г/т; Pt/Pd = 1) их разновидностей с близким к метеоритному изотопным составом серы и сравнительно широким комплексом (свыше 30) рудных (в том числе Pt-Pd содержащих) минералов. Специфические условия формирования пород и руд из гибридного кремнисто-магнезиального (бонинитоподобного) сульфидоносного расплава, возникшего в результате контаминации исходных мантийных (коматиитовых) магм коровым материалом [39], определяют уникальность структурно-вещественных, петролого-геохимических и рудно-формационных граничных признаков крупного по запасам и ресурсам еланского типа платиноидно-медно-кобальт-никелевых месторождений. К их числу относятся [39, 45, 50]: а) пространственно-генетическая связь оруденения с широко развитыми многофазными субвулканическими ортопироксенит-норит-диоритовыми телами при ведущей рудовмещающей роли интрузивных норитов; б) присущий коматиит-ассоциированным сульфидно-никеленосным РМС маломедистый высоконикелистый (с повышенным содержанием кобальта) состав руд с возрастающей концентрацией ЭПГ по мере перехода от вкрапленных (Ni = 0,87–1,45 мас. %, Cu = 0,11 %, Co = 0,04–0,42 %, ЭПГ = 0,30 г/т) к более медистым вкраплено-прожилковым (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 1,43 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, а также в разной мере обогащенных платиноидами сульфоарсенидов.

Важнейшим структурно-вещественным и рудонесущим компонентом мамонского и еланского типов РМС (до 6–12 % объема) являются дайковые образования [21, 41, 42, 45], среди которых, подоб-

но другим выше охарактеризованным типам сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений, выделяются три группы [15]: 1) дайки и дайкообразные подводящие каналы – проводники магматических сульфидоносных расплавов; 2) дайки – апофизы интрузивных эквивалентов кристаллизующихся РМС в конечной камере и внутриинтрузивные жильные отщепления интеркумулусного расплава или новых неоднократно поступающих свежих порций магм; 3) дайки более поздних, различных по формационной принадлежности магматических комплексов и лампрофиров.

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 рудномагматической системе (РМС) мамонского типа позволили выявить ряд различных по масштабам, времени и условиям формирования, минеральному составу и содержанию Ni, Co, Cu и благородных металлов типов руд, ассоциирующих с дайковыми образованиями (табл. 6).

Характер взаимоотношения даек и оруденения свидетельствует о полигенной природе и длительном, полихронном процессе формирования сульфидной платиноидно-медно-никелевой интрузивно-дайковой рудномагматической системы мамонского типа. Впервые установлено, что процесс сульфидного платиноидно-медно-никелевого рудообразования мамонского типа месторождений включает: а) одновременные и близкоодновременные с магматическими рудными залежами в ультрамафитовых интрузивных дифференциатах сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды, ассоциирующие с дайками многоактного внедрения с образованием самостоятельных месторождений (юбилейный тип); б) близкоодновременное с сингенетическими рудами в интрузивных ультрамафитах формирование даек ортопироксенитов и горнблендитов субультрамафитового ряда, сопровождающихся богатым медно-никелевым оруденением (восточно-садовский и северо-бычковский типы); в) последующее внедрение даек титанистороговообманковых пироксенитов с существенно пирротиновыми малоникелистыми рудами (ширяевский тип); г) значительно оторванное во времени от становления РМС мамонского типа формирование высокомедистых (артюховский тип), медно-никелевых (коммунский тип) и богатых кобальт-никелевых руд (мартовский тип) в результате метасоматической переработки дайкообразных тел

*Типы платиносодержащих медно-никелевых и кобальт-никелевых руд
в дайково-жильных образованиях и метасоматитах мамонского типа РМС*

Состав рудовмещающих дайково-жильных образований и метасоматитов	Тектурные типы руд	Содержание рудообразующих элементов	Минеральные типы руд
<i>I тип – ассоциирующие с дайками многоактного внедрения с образованием автономных месторождений (юбилейный тип)</i>			
1. Комплекс дайковых пород (роговообманковые перидотиты, плагиогорнблендиты, роговообманковое габбро, диориты, гранитоиды) многократного внедрения	Рассеянно- и густовкрапленные	Ni=0,30–2,90 %; Cu=0,15–2,0 % Co=0,03–0,16 %; ЭПГ>0,3 г/т	Халькопирит-пентландит-пирротинный (± хромшпинелиды, магнетит, макинавит, валлериит, кубанит, бравоит, сульфиды Pb, Zn, Mo, арсениды, сульфоарсениды Ni, Co; самородное золото, минералы платиновой группы)
	Массивные	Ni=1,3–3,0 %; Cu до 10–12 % Co=0,13–0,20 %; ЭПГ=0,48 г/т	
<i>II тип – ассоциирующие с внутриинтрузивными дайками ортопироксенитов и пироксеновых горнблендитов (восточно-садовский и северо-бычковский типы)</i>			
2. Дайки ортопироксенитов, габбродиоритов, диоритов, гранитоидов	Вкрапленные, гнездово-вкрапленные	Ni=0,37–2,84 %; Cu=0,21–0,39 % Co=0,03–0,16 %	Халькопирит-пентландит-пирротинный и пентландит-пирротинный при ограниченной роли арсенид-сульфоарсенидного никель-кобальтового (± хромшпинелиды, макинавит, ильменит, магнетит, сфалерит, молибденит и др.)
	Массивные	Ni=2,38–3,4 %; Cu=0,14–0,30 % Co=0,11–0,21 %; ЭПГ=0,46 г/т	
3. Дайки пироксеновых горнблендитов среди рудоносных роговообманковых перидотитов	Вкрапленные и прожилково-вкрапленные	Ni=0,60 %; Cu=0,30 % Co=0,02 %; ЭПГ=0,24 г/т	Халькопирит-пентландит-пирротинный (± магнетит, хромшпинелиды, кобальтин, герсдорфит, пирит, виоларит)
<i>III тип – ассоциирующие с дайками титанистороговообманковых пироксенитов (ширяевский тип)</i>			
4. Дайки титанистороговообманковых пироксенитов среди рудоносных роговообманковых перидотитов	Вкрапленные и прожилково-вкрапленные	Ni=0,20 %; Cu=0,19 % Co=0,04 %; Pt+Pd=0,20 г/т	Существенно пирротинный и пирит-пирротинный малоникелистый (± магнетит, ильменит, хромшпинелиды, макинавит)
<i>IV тип – возникшие в зоне катаклаза и метасоматической переработки дайковых тел рудоносных пироксенитов и горнблендитов диоритами (комагматов мамонского комплекса) и гранитоидами бобровского комплекса (артюховский, коммунаский и мартовский типы)</i>			
5. Флогопит-биотит-вермикулит-хлоритовые (±серпентин, тальк) метасоматиты зон контакта ультрамафитов с дайками гранитоидов	Массивные	Ni=2,83 %; Cu=10,0 % Co=0,13 %; Au=0,88 г/т Pt+Pd=0,6 г/т	Пентландит-халькопирит-пирротинный (± хромшпинелиды, магнетит, макинавит, молибденит, валлериит, кобальтин, никелин, сфалерит, пирит, золото самородное)
6. Карбонат-хлорит-амфиболовые метасоматиты и кварц-сульфидно-арсенидные жилы на контакте дайковых пироксенитов, диоритов и гранитоидов	Вкрапленные	Ni=1,25 %; Cu=0,41 % Co=0,03 %	Халькопирит-пентландитовый и сульфоарсенид-арсенидный никель-кобальтовый (герсдорфит, кобальтистый герсдорфит, никелистый кобальтин, кобальтин, никелин, гаухекорнит, миллерит, хизлевудит, графит и др.)
	Массивные	Ni=14,5 %; Cu=0,44 % Co=2,2 %; Au=0,5 г/т ЭПГ=1,7 г/т	
7. Зона катаклаза и брекчирования даек рудных пироксенитов, кварцевых диоритов, биотит-плагиоклазовых метасоматитов	Вкрапленные и прожилково-вкрапленные, редко массивные	Ni=0,30–0,80 %; Cu=0,20–0,67 % Co до 0,06 %	Халькопирит-пентландит-пирротинный с ограниченной ролью арсенид-сульфоарсенидного никель-кобальтового (± хромшпинелиды, магнетит, макинавит, пирит, молибденит, галенит, кубанит, арсенопирит и др.)

пироксенитов и горнблендитов диоритами мамонского и гранитоидами бобровского комплексов. Принципиальная схема полихронного и полигенного процесса формирования рудонесущего интрузивно-дайкового комплекса РМС на основе модели транскоровой эволюции над локальными плюмами, детально описанная в работе [47], иллюстрируется на рис. 14.

Характер взаимоотношений различных по возрасту и составу даек и оруденения свидетельствует о полигенной природе и длительном, полихронном процессе формирования сульфоарсенидно-сульфидной высоконикелистой платиноидно-кобальт-медистой РМС еланского типа (табл. 7). Впервые установлено, что процесс рудообразова-

ния еланского типа включает: а) промышленно значимое оруденение в автономных крупных дайковых телах ортопироксенитов, предшествующее формированию руд в интрузивной фации норитов; б) одновременное или близкородственное с магматическими рудами в норитах вкрапленное оруденение в дайках норит-порфириров и богатое по содержанию цветных и благородных металлов в дайковых телах роговообманкового габбро и их пегматоидных образованиях; в) более позднее по времени формирования оруденение, ассоциирующее с завершающей диоритовой фазой и ее жильными комагматами и наследующее лишь ряд рудно-геохимических признаков, присущих длительно формирующейся РМС еланского типа [43].

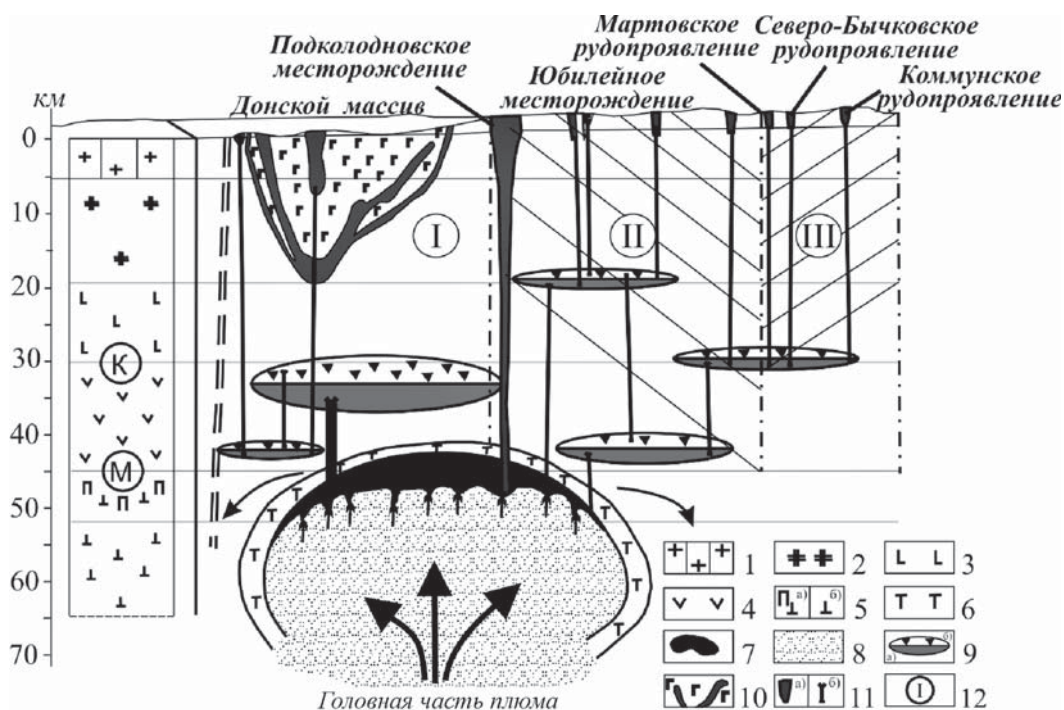


Рис. 14. Принципиальная схема транскоровой эволюции магматической системы над локальным плюмом при формировании рудонесущего мафит-ультрамафитового интрузивно-дайкового мамонского комплекса (с элементами прогноза): разрез глубинной геоплотностной модели коры и верхов мантии Подколodновского блока [47]: 1 – слой «гранит 1» (стратифицированная часть – петрографически разнородный комплекс); 2 – слой «гранит 2» – амфиболсодержащие гранитогнейсы; 3 – «диоритовый слой» (переходный); 4 – метабазитовый слой; 5 – верхи мантии по сейсмopлотностным свойствам: а) – переходная зона кора-мантия, б) – верхнемантийные образования; Головная часть плюма: 6 – охлажденная краевая часть плюма; 7 – область мантийного магнемаобразования; 8 – внутренняя часть плюма; 9 – промежуточные магматические очаги, дифференцированные от ультрамафитового (а) до мафитового (б) расплава; 10 – расслоенный мафит-ультрамафитовый Донской массив; 11 – условные магмаводы: а) из верхней зоны плюма (Подколodновское месторождение), б) из промежуточных очагов с формированием интрузий и дайковой серии в процессе механизма рассеянного спрединга; 12 – зоны позднеколлизийной структурно-тектонической трещиноватости с элементами прогноза: (I) – Западная зона, преимущественно крупноблокового строения рамы гнейсового блока и расслоенного Донского массива мафит-ультрамафитов; (II) – Центральная зона крупно-среднеблокового строения с развитием линейных северо-западного простирания разломно-блоковых структур (Юбилейное месторождение) и узлов интенсивного катаклаза и трещиноватости (Подколodновское месторождение); (III) – Восточная зона повышенной трещиноватости, катаклаза гнейсов с будинированными дайкообразными телами гипербазитов (Бычковское, Артюховское, Северо-Бычковское, Коммуниское; Мартовское рудопроявления, ассоциирующие с дайково-жильным комплексом и метасоматитами)

*Типы медно-никелевых и кобальт-медисто-никелевых руд
в дайково- жильных образованиях еланского типа РМС*

Состав рудовмещающих дайково- жильных образований	Текстурные типы руд	Содержание рудообразующих элементов	Минеральные типы и состав руд	Примеры месторождений и рудопроявлений
1	2	3	4	5
<i>I тип – ассоциирующие с дайками ортопироксенитов, предшествующих образованию сульфидно-медно-никелевых руд в интрузивных норитах</i>				
Дайки ортопироксенитов среди Елань-Коленовского ультрамафит-мафитового плутона мамонского комплекса	Вкрапленные	Ni = 0,78 – 1,10 Co = 0,05 – 0,07 Cu = 0,17 – 0,20	Халькопирит-пентландит-пирротиновый с существенной ролью арсенидов Ni и Co (никелин, кобальтин, герсдорфит, смальтин-скутерродит, раммельсбергит, гаухекорнит и др.), хромшпинелиды (высокохромистые цинк-содержащие), магнетит, сфалерит, галенит, молибденит, миллерит, кубанит, валлеирит, самородное золото, платиновый минерал (?), тунгстенит, пирит, графит и др.	Центральное
	Гнездово-вкрапленные	Ni = 1,70 Co = 0,15 Cu = 0,25 Pt+Pd = 0,35 Au = 0,46		
<i>II тип – ассоциирующие с дайками норит-порфириров</i>				
Дайки норит-порфириров среди интрузивных норитов	Вкрапленные	Ni = до 0,40 Co = 0,02 Cu = 0,06 – 0,07 ЭПГ до 0,22	Халькопирит-пентландит-пирротиновый с ограниченным развитием сульфоарсенидов Ni и Co (кобальтин, герсдорфит, никелин, ульманит, маухерит), арсенопирит, теллуровисмутит, молибденит, сфалерит, хромшпинелиды, магнетит, ильменит и др	В пределах Еланского и Елкинского месторождений
<i>III тип – ассоциирующие с внутрирудными дайками роговообманового габбро и их пегматоидами</i>				
1. Дайки роговообманкового габбро среди рудоносных норитов	Вкрапленные	Ni = 0,47 Co = 0,02 Cu = 0,07	Халькопирит-пентландит-пирротиновый с арсенидами и сульфоарсенидами Ni и Co (герсдорфит, кобальтин, никелин, гаухекорнит, маухерит, ульманит, раммельсбергит и др.), миллерит, арсенопирит, теллуровисмутит, молибденит, сфалерит, галенит, пирит, борнит, макинавит, золото, аргентопентландит, алтаит, хромшпинелиды, магнетит, ильменит и др.	В пределах Еланского месторождения
	Гнездово-вкрапленные	Ni = 3,42 Co = 0,05 Cu = 0,29		
	Массивные	Ni = 5,45 – 6,25 Co = 0,09 – 0,10 Cu = 0,30 – 0,87 ЭПГ = 0,45		
2. Сульфоарсенид-сульфидно-пегматоидные жилы среди даек роговообманкового габбро	Гнездово-прожилковые и массивные	Ni = 5,38 – 9,35 Co = 0,19 – 0,34 Cu = 0,20 – 1,03 Au = 0,54 – 1,03 ЭПГ = 1,02 – 1,56	Сульфоарсенид-сульфидный кобальт-медисто-никелевый (+ комплекс минералов, характерных для руд в дайках роговообманковых габбро)	Там же

1	2	3	4	5
<i>IV тип – ассоциирующие с дайками диоритов завершающей фазы и кварц-карбонатными и другими жильными образованиями</i>				
1. Дайки диоритов и диоритовых порфириров среди норитов	Прожилковые, вкрапленные	Ni = 0,05 – 0,07 Co = 0,01 – 0,02 Cu = 0,006	1. Халькопирит-пиритовый (± пирротин, пентландит, марказит, кубанит, графит); 2. Пирит-пирротин-арсенопиритовый (± халькопирит, пентландит, кобальтин, герсдорфит, данаит, графит, кубанит, сфалерит, молибденит и др.)	В пределах еланского типа месторождений и рудопроявлений
2. Кварц-карбонатные, кварц-полевошпатовые и карбонатные жилы и прожилки среди диоритов, иногда норитов	Прожилковый	Не определялось	Золото-сульфидно-арсенидный жильный (арсенопирит, пирит, кубанит, аргентопентландит, пирротин, герсдорфит, кобальтин, золото самородное, галенит, сфалерит)	

Примечание: содержание Ni, Co, Cu – в масс. %, платиноиды и золото в г/т

Общность структурно-вещественных, минералого-петрографических, петрогеохимических и рудногеохимических параметров с рудоносными комагматами, многократное обогащение дайковых пород ценными и благородными металлами [43, 45, 46], определяет высокую потенциальную никель-платиноносность РМС еланского типа (табл. 7).

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 (РМС)

Выделены три группы даек, различных по минералогическим особенностям, структурно- и рудно-петрологической принадлежности, месту в общей эволюции сульфидно-платиноидно-медно-никелевого рудообразования: а) дайкообразные тела – подводящие каналы (проводники) сульфидных магматических расплавов, которые в ряде случаев сами по себе образуют самостоятельные автономные разномасштабные (от супергигантских до средних и мелких) месторождения сульфидных платиноидно-медно-никелевых и собственно платинометалльных руд; б) дайки-апофизы интрузивных эквивалентов (в

том числе продуктов дифференциации) РМС во вмещающих породах, наследующие рудно-петрологические особенности продуктов конечной камеры; в) внутриинтрузивные (внутрикамерные) жильные отщепления интеркумулусного расплава и продукты новых (свежих) неоднократно поступающих в конечную камеру порций магм с образованием самостоятельных автономных кристаллизующихся петрорудосистем.

Для каждой из выделенных групп рудонесущих даек разнотипных РМС приводятся обобщенные рудно-петрологические модели формирования связанных с ними разномасштабных месторождений, их место в общей длительной эволюции рудогенеза.

На примере сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС мамонского и еланского типов приведена подробная характеристика рудонесущих даек, пространственно-временных соотношений их с основными рудными залежами в интрузивных дифференциатах, которые подтверждают длительный многоэтапный характер становления РМС и существенный вклад даек, нередко сопровождающихся месторождениями, в общий металлогенический потенциал цветных и благородных металлов.

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

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абдуллаев Х. М.* Дайки и оруденение / Х. М. Абдуллаев. – М. : Госгеолтехиздат, – 1957. – 232 с.
2. *Абрамов Б. Н.* Золотоносность докембрийских дайковых комплексов Кодаро-Удоканской зоны / Б. Н. Абрамов, Н. Е. Чернышова // Современные проблемы формационного анализа, петрология и рудоносность магматических образований : тез. докл. Всерос. совещ. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2003. – С. 7–8.
3. *Арзамасцев А. А.* Минералого-геохимические критерии эволюции дайковой серии Ковдорского массива / А. А. Арзамасцев // Рои магматических даек как индикаторы эндогенных режимов (Кольский п-ов). – Апатиты, 1989. – С. 82–96.
4. *Богатилов О. А.* Петрология и генезис коматиитов / О. А. Богатилов, А. В. Гирнис, И. Д. Рябчиков // Вулканология и сейсмология. – 1984. – № 6. – С. 18–39
5. *Богатилов О. А.* Лампроиты / О. А. Богатилов, И. Д. Рябчиков, В. А. Кононова [и др.]. М. : Наука, 1991. – 302 с.
6. *Годлевский М. Н.* Магматические месторождения / М. Н. Годлевский // Генезис эндогенных рудных месторождений – М. : Наука, 1968 – С. 7–83.
7. *Горбунов Г. И.* Геология и генезис сульфидных медно-никелевых месторождений Печенги / Г. И. Горбунов. – М. : Недра, 1968. – 352 с.
8. *Добрецов Н. Л.* Глубинная геодинамика. Издание второе / Н. Л. Добрецов, А. Г. Кирдяшкин, А. А. Кирдяшкин. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2001. – 408 с.
9. *Додин Д. А.* Закономерности размещения крупных и уникальных месторождений платиновых металлов России : (минерально-сырьевой потенциал XXI века) / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, А. В. Савицкий [и др.] // Вестн. ВГУ. Сер. геол. – 1999. – № 7. – С. 6–24.
10. *Додин Д. А.* Платинометалльные месторождения России / Д. А. Додин, Н. М. Чернышов, Б. А. Яцкевич. СПб. : Наука, 2000. – 755 с.
11. *Додин Д. А.* Металлогения Таймыро-Норильского региона / Д. А. Додин. – СПб. : Наука, – 2002. – 822 с.
12. *Ефремова С. В.* Дайки в гранитных комплексах Центрального Казахстана / С. В. Ефремова. – М. : Наука, – 1970. – 237 с.
13. *Ефремова С. В.* Дайки и эндогенное оруденение / С. В. Ефремова. – М. : Недра, 1983. – 224 с.
14. *Золотухин В. В.* Базитовые пегматоиды Норильских рудоносных интрузивов и проблема генезиса платиноидно-медно-никелевого оруденения Норильского типа / В. В. Золотухин. – Новосибирск : СО РАН, НИЦ ОИГГМ, 1997. – 89 с.
15. *Золотухин В. В.* Петрология Талнахской рудоносной дифференцированной трапповой интрузии / В. В. Золотухин, В. В. Рябов, Ю. Р. Васильев, В. А. Шатков. – Новосибирск : Наука, 1975. – 432 с.
16. *Козлов Е. К.* Естественные ряды пород никеленосных интрузий и их металлогения / Е. К. Козлов. – Л. : Наука, 1973. – 288 с.
17. *Конников Э. Г.* Соотношение постплутонических даек и эпигенетических сульфидных руд медно-никелевых месторождений / Э. Г. Конников, А. А. Цыганков // Докл. АН. – 1997. – Т. 354. – № 4. – С. 520–523.
18. *Куренков С. А.* Дайковые комплексы и их тектоническая интерпретация / С. А. Куренков, А. С. Перфильев // Геотектоника. – 1984. – № 5. – С. 3–15.
19. *Лихачев А. П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения / А. П. Лихачев. – М. : Эслан, 2006. – 496 с.
20. *Маракушев А. А.* Минералого-петрографические критерии рудоносности изверженных пород / А. А. Маракушев, Н. И. Безмен – М. : Недра, 1992. – 317 с.
21. *Молотков С. П.* Хромитовые руды в никеленосных гипербазитах мамонского комплекса юго-востока ВКМ / С. П. Молотков, В. В. Буковшин, С. М. Фролов // Вопросы петрологии и рудоносности основного-ультраосновного магматизма Воронежского кристаллического массива. – Воронеж, – 1974. – С. 118–124.
22. *Моралев В. М.* Геодинамические условия внедрения и петрология разновозрастных даек Порьегубского поля (Кандалакшский залив Белого моря) / В. М. Моралев, М. Д. Самсонов // Изв. вузов. Геология и разведка. – 2003. – № 4. – С. 3–9.
23. *Налдретт А. Дж.* Сульфидные никелевые месторождения: Классификация, состав и генезис / А. Дж. Налдретт // Генезис рудных месторождений. – М. : Мир, 1984. – С. 253–343.
24. *Налдретт А. Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд / А. Дж. Налдретт. – СПб. : СПбГУ, 2003. – 487 с.
25. *Никифоров А. В.* Дайки гранитных пегматитов в габбро-сиенитовых расслоенных массивах Байкальского региона / А. В. Никифоров, В. В. Ярмолюк [и др.] // Строение литосферы и геодинамика : материалы 19-й Всерос. молодеж. конф. – Иркутск, 2001. – С. 63–64.
26. *Петровский М. Н.* Новый ареал распространения дайкового щелочно-ультраосновного и щелочного магматизма на Терском берегу Белого моря / М. Н. Петровский, Б. В. Гавриленко, Д. Р. Зозуля [и др.] // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск, Карел. НЦ РАН, 2004. – Вып.7. – С. 44–54.
27. *Полева Т. В.* Дайки Крестовского массива щелочно-ультраосновных пород / Т. В. Полева, Ю. В. Еже-

лый // Проблемы геологии и освоения недр. Тр. 5-й Междунар. науч. симпоз. – Томск, 2001. – С. 127.

28. Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района / В. Ф. Смолькин, Ж. А. Федотов, Ю. Н. Нерадовский [и др.]. – Апатиты : Кольский НЦ, 2004. – Часть 1. – 117 с. Часть 2 – 177 с.

29. *Рябов В. В.* Дайковый пояс зоны спрединга севера Сибирской платформы / В. В. Рябов, Д. Е. Гриб // Петрология магматических и метаморфических комплексов. – Новосибирск : СО РАН, 2002. – С. 208–214.

30. *Рябчиков И. Д.* Механизм и условия формирования магм в мантийных плюмах / И. Д. Рябчиков // Петрология, 2003. – Т. 11. – № 6. – С. 548–555.

31. *Самсонов М. Д.* Структурная эволюция Порьгубского дайкового поля (северо-западный фланг Онежско-Кандалакшского палеорифта) : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук / М. Д. Самсонов. – М., 2004. – 25 с.

32. *Семенов И. В.* Комплекс параллельных долеритовых даек офиолитов Урала – крупный останец палеозойской океанической спрединговой структуры океана Палеотетис / И. В. Семенов // Современные проблемы формационного анализа, петрология и рудоносность магматических образований : тез. докл. Всерос. совещ. – Новосибирск : Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2003. – С. 304–305.

33. *Смолькин В. Ф.* Магматизм, седиментогенез и геодинамика Печенгской палеорифтовой структуры / В. Ф. Смолькин, Ф. П. Митрофанов, А. А. Аведисян [и др.]. – Апатиты : Кольский научный центр РАН, 1995. – 256 с.

34. *Степанова А. В.* Раннепротерозойские дайки долеритов северной части Карельского кратона: геология, геохимия, петрология / А. В. Степанова // Геология и полезные ископаемые Карелии. – Петрозаводск : Карел. НЦ РАН, 2004. – Вып. 7. – С. 34–43.

35. *Хубанов В. Б.* Строение и состав Удинского дайкового пояса (Западное Забайкалье) / В. Б. Хубанов // Мат-лы 19-й Всерос. молодеж. конф. «Строение литосферы и геодинамика». – Иркутск, 2001. – С. 78–79.

36. *Чернышов Н. М.* Сульфидно-никелевые рудно-магматические системы : (типизация и эволюция) / Н. М. Чернышов // Изв. АН СССР. Сер. геол. – 1990. – № 11. – С. 94–106.

37. *Чернышов Н. М.* Структурно-вещественная эволюция сульфидно-никелевых рудномагматических систем докембрия / Н. М. Чернышов // Геология и геофизика. – 1991. – № 6. – С. 11–19.

38. *Чернышов Н. М.* Уран-свинцовый возраст норитдиоритовых интрузий Еланского никеленосного комплекса и их временные соотношения с габроноритами дифференцированных ультрамафит-мафитовых плуто-

нов мамонского комплекса ВКМ / Н. М. Чернышов, Т. Б. Баянова, М. Н. Чернышова [и др.] // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39. – № 8. – С. 1064–1071.

39. *Чернышов Н. М.* Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2004. – 448 с.

40. *Чернышов Н. М.* Типы и эволюция сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудно-магматических систем ВКМ / Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова // Петрология и минерагения Кольского региона : труды V Всерос. Ферсмановской науч. сессии, посв. 90-летию со дня рождения Е. К. Козлова, Апатиты, 14–15 апреля 2008 г. – Апатиты : Изд-во Кол. НЦ РАН, 2008. – С. 209–211.

41. *Чернышова М. Н.* Дайки мамонского никеленосного комплекса и их соотношение с оруденением / М. Н. Чернышова. – Воронеж : Воронеж. гос. ун-т. – 1999. – 121 с.

42. *Чернышова М. Н.* Минералогические критерии генетического родства даек и интрузивных дифференциатов (на примере мамонского никеленосного комплекса ВКМ) / М. Н. Чернышова // 2-е Всерос. петрограф. совещ. «Петрография на рубеже XXI века : итоги и перспективы». – Сыктывкар : УРНЦ РАН, 2000. – С. 245–246.

43. *Чернышова М. Н.* Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Еланского типа и их соотношение с оруденением (Воронежский кристаллический массив) / М. Н. Чернышова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2002. – 184 с.

44. *Чернышова М. Н.* Место и роль даек в общей модели формирования сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений еланского типа ВКМ (Центральная Россия) / М. Н. Чернышова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. геол. – 2005. – № 2. – С. 77–95.

45. *Чернышова М. Н.* Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива / М. Н. Чернышова. – Воронеж : Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 2005. – 368 с.

46. *Чернышова М. Н.* Место и роль даек в общей модели формирования сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений еланского типа ВКМ (Центральная Россия) / М. Н. Чернышова // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. геол. – 2005. – № 2. – С. 77–95.

47. *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.

48. Чернышова М. Н. Положение и роль даек в общей модели формирования мамонского типа сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений ВКМ / М. Н. Чернышова // Петрология и минерагения Кольского региона : труды V Всерос. Ферсмановской науч. сессии, посв. 90-летию со дня рождения Е. К. Козлова, Апатиты, 14–15 апреля 2008 г. – Апатиты : Изд-во Кол. НЦ РАН, 2008. – С. 209–211.

49. Шарков Е. В. Роль мантийных плюмов в тектонике раннего докембрия восточной части Балтийского щита / Е. В. Шарков, О. А. Богатилов, И. С. Красивская // Геотектоника. – 2000. – № 2. – С. 3–25.

50. Шарков Е. В. Строение магматических систем крупных изверженных провинций континентов по геолого-петрологическим данным / Е. В. Шарков // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. геол. – 2004 – № 2. – С. 7–22.

51. Шаталов Н. Н. Дайки Украинского щита / Н. Н. Шаталов, А. Н. Шаталов // Геологический журнал. – 2002. – № 3. – С. 56–61.

52. Яковлев Ю. Н. Мончегорский район – рудная база цветной и платинометалльной промышленности XXI века / Ю. Н. Яковлев, В. С. Докучаева, Ф. И. Свяженин // Платина России. – М. : АО «Геоинформмарк», 1999. – Т. III. – С. 161–172.

53. Barker D. S. Igneous Rocks. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliff / D. S. Barker. – New Jersey, 1983. – P. 132–133.

54. Bleeker W. Evolution of the Thompson nickel belt and its nickel deposits / W. Bleeker. – Manitoba, Canada, Unpublished Ph. D. thesis, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, 1990. – 356 p.

55. Borradaile G. J. Interpreting anomalous magnetic fabrics in ophiolite dikes / G. J. Borradaile, D. Gauthier // J. Struct. Geol. 2003. – P. 171–182.

56. Brugmann G. E. Magma mixing and constitutional zone refining in the Lac des Iles complex, Ontario : genesis of platinum-group element mineralization / G. E. Brugmann, A. J. Naldrett, A. J. Macdonald // Economic Geology. – 1989. – Vol. 84. – P. 1557–1573.

57. Brugmann G. E. The Platinum-Group-Element Distribution in the Dumont Sill, Quebec. Implications for the formation of Ni-Sulphide Mineralisation / G. E. Brugmann, A. J. Naldrett, J. M. Duke // Mineralogy and Petrology, 1990. – Vol. 40. – P. 97–119.

58. Cabri L. J. The mineralogy of the platinum-group elements from some Cu-Ni deposits in the Sudbury area, Ontario / L. J. Cabri, J. H. J. Laflamme // Economic Geology, 1976. – Vol. 71. – P. 1159–1195.

59. Cabri L. J. The nature of the distribution and concentration of platinum-group elements in various

geological environments. Proc., 27th International Geological Congress, 10 / L. J. Cabri, A. J. Naldrett // Mineralogy. – 1984. – P. 17–46.

60. Cawthorn R. G. Platinum-Group Element Deposits in the Bushveld Complex, South Africa. In The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements / R. G. Cawthorn, R. K. Merkle, M. J. Viljoen; ed. L. J. Cabri. – Ottawa, Ontario : Canadian Institute of Mining and Metallurgy Special, 2002. – Vol. 54. – P. 389–429.

61. Chatterjee Nilanjan Petrology, geochemistry and tectonic settings of the mafic dikes and sills associated with the evolution of the Proterozoic Cuddapah Basin of south India / Chatterjee Nilanjan, Bhattacharji Somdev // Proc. Indian Acad. Sci. Earth and Planet. Sci. – 2001. – P. 433–453.

62. Cochraine L. B. Ore deposits of the Copper Cliff Offset. In The Geology and Ore Deposits of the Sudbury Structure / L. B. Cochraine; eds. E. G. Pye, A. J. Naldrett and P.E. Giblin. – Ontario Geological Survey Special, 1984. – Vol. 1. – P. 97–138.

63. Duke J. M. Computer simulation of the fractionation of olivine and sulfide from mafic and ultramafic magmas / J. M. Duke // Canadian Mineralogist. – 1979. – Vol. 17. – P. 507–514.

64. Ernst R. E. Maximum size and distribution in time and space of mantle plumes: evidence from large igneous provinces / R. E. Ernst, K. L. Buchan // Journal of Geodynamics. – 2002. – Vol. 34. – P. 309–342.

65. Evans-Lamswood D. M. Physical controls associated with the distribution of sulphides in the Voisey's Bay Ni-Cu-Co deposit, Labrador / D. M. Evans-Lamswood, D. P. Butt, R. S. Jackson, D. V. Lee, N. G. Muggridge, R. I. Wheeler, D. H. C. Wilton // Economic Geology. – 2000. – Vol. 95. – P. 749–770.

66. Farrow C. E. G. Sudbury PGE Revisited : Toward and Integrated Model In The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements (ed. L.J. Cabri) / C. E. G. Farrow, P. S. Lightfoot – Ottawa, Ontario : Canadian Institute of Mining and Metallurgy Special. – 2002. – Vol. 54. – P. 273–297.

67. Hanghoj K. An isotope and trace element study of the East Greenland Tertiary dyke swarm : constraints on temporal and spatial evolution during continental rifting / K. Hanghoj, M. Storey, O. Stecher // J. Petrol. 2003. – № 11. – P. 2081–2112.

68. Johnson S. E. Growth rates of dike-fed plutons: Are they compatible with observations in the middle and upper crust? / S. E. Johnson, M. Alibert, S. R. Paterson // Geology. – 2001. – № 8. – Vol. 29. – P. 727–730.

69. Lasser B. Assimilation and high-pressure fractional crystallization (AFC) recorded by Paleo-proterozoic mafic

- dykes, Southeast Greenland / B. Lasser, D. Bridgwater, S. Bernstein, M. Rosing // *Lithos An International Journal of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*. – 2004. – № 1–2. – P. 1–18.
70. *Li C.* Geology and Petrology of the Voisey's Bay intrusion : reaction of olivine with sulphide and silicate liquids / C. Li, A. J. Naldrett // *Lithos*. – 1999. – Vol. 47. – P. 1–31.
71. *Li C.* Melting reactions of gneissic inclusions with enclosing magma at Voisey's Bay: Implications with respect to ore genesis / C. Li, A. J. Naldrett // *Economic Geology*. – 2000. – Vol. 95. – P. 801–814.
72. *Lightfoot P. C.* Chemical Evolution and Origin of Nickel Sulfide Mineralization in the Sudbury Igneous Complex, Ontario, Canada / P. C. Lightfoot, R. R. Keays, W. Doherty // *Economic Geology*. – 2001. – Vol. 96. – P. 1855–1875.
73. *Naldrett A. J.* World class Ni-Cu-PGE Deposits: Key factors in their genesis / A. J. Naldrett // *Mineralium Deposita*. – 1999. – Vol. 34. – P. 227–240.
74. *Naldrett A. J. and Kullerud G.* A study of the Strathcona mine and its bearing on the origin of the nickel-copper ores of the Sudbury district / A. J. Naldrett, G. Kullerud // *Ontario Journal of Petrology*, 1967. – Vol. 8. – P. 453–531.
75. *Naldrett A. J.* Fractional crystallization of sulfide melts as illustrated at Noril'sk and Sudbury / A. J. Naldrett, D. C. Ebel, M. Asif, G. Morrison, C. Moore // *European Journal of Mineralogy*. – 1997. – Vol. 9. – P. 365–377.
76. *Perttunen V.* Mafic dykes in the northwest part of the Pudasjarv: Granite Gneiss Complex / V. Perttunen // *Geological Survey of Finland. Report of investigation*. – 1987. – V. 76. – P. 29–34.
77. *Thorne K. G.* Geochemistry and petrogenesis of the East Branch Brook metagabbroic dykes in the Sawyer Brook fault zone, Clarence Stream gold prospect, southwestern New Brunswick / K. G. Thorne, D. R. Lentz // *Atlant. Geol.* 2001. – № 2–3. – Vol. 37. – P. 175–190.
78. *Viljoen M. J., De Klerk W. J., Coetzer P. M. et al.* The Union Section Rustenburg platinum mines limited, with reference to the Merensky Reef / M. J. Viljoen, W. J. De Klerk, P. M. Coetzer [et al.] // *Mineral Deposits. S. Africa*. – 1986. – P. 1061–1090.
79. *Wilson A. H.* The Great Dyke of Zimbabwe – I: Tectonic setting, stratigraphy, petrology, structure, emplacement and crystallisation. In *Magmatic Sulphides – The Zimbabwe Volume* / A. H. Wilson, M. D. Prendergast; eds. M. D. Prendergast and M. J. Jones : The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1989. – P. 1–20.
80. *Wilson A. H.* Platinum-group element mineralization in the Great Dyke, Zimbabwe, and its relationship to magma evolution and magmachamber structure / A. H. Wilson, M. D. Prendergast // *South African Journal of Geology*. – 2001. – Vol. 104. – P. 319–342.

Чернышов Николай Михайлович – доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. кафедрой минералогии и петрологии, Воронежский государственный университет, член-корреспондент РАН. Тел.: (4732) 208-681

Chernyshov Nikolay Mikhailovich – Doctor of the Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Head of Chair, Voronezh State University, Corresponding Member of the RAS. Tel.: (4732) 208-681

Чернышова Марина Николаевна – доктор геолого-минералогических наук, доцент кафедры минералогии и петрологии, Воронежский государственный университет. Тел.: (4732) 208-681

Chernyshova Marina Nikolaevna – Doctor of the Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor, Voronezh State University. Tel.: (4732) 208-681