

РУДОНЕСУЩИЕ ДАЙКИ ВЕДУЩИХ ТИПОВ СУЛЬФИДНЫХ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

© 2009 г. Н. М. Чернышов, М. Н. Чернышова, Л. В. Гончарова

Воронежский государственный университет

394006, Воронеж, Университетская пл., 1

E-mail: petrology@geol.vsu.ru

Поступила в редакцию 19.05.2009 г.

Выполнена оценка роли даек как важнейших структурно-вещественных и рудонесущих компонентов ведущих типов сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудно-магматических систем (РМС): Бушвельд, Ю. Африка; Великая Дайка, Зимбабве; Войсис-Бей, Садбери, Канада; Маунт-Кейт, Фишер и др., Зап. Австралия; Джинчуан, Китай; Норильская, Кольская, Воронежская группы, Россия. Выделено три группы даек, различных по структурно-петрологической принадлежности и месту в общей эволюции сульфидного платиноидно-медно-никелевого рудообразования: а) подводящие каналы (проводники) РМС с образованием самостоятельных петрорудосистем и месторождений; б) апофизы интрузивных эквивалентов РМС во вмещающих породах; в) внутриинтрузивные жильные отщепления интеркумulusного 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, сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды.*

Дайковые образования, являющиеся одним из существенных компонентов магматических и рудно-магматических систем (РМС), представляют исключительный интерес для решения фундаментальных проблем геологии, геодинамики, петрологии и рудообразования. Во многих публикациях последних лет отражена особая роль даек в качестве: а) системы подводящих каналов промежуточных коровых очагов головных частей мантийных суперплюмов и локальных плюмов [3, 21, 29]; б) самостоятельных дайковых серий и комплексов в виде линейных поясов, автономных полей, роев даек, присущих специфическим геодинамическим режимам формирования разнотипных структур, или выступающих как возможные компоненты раннеархейского рециклинга коры и реликтов крупных магматических провинций в пределах древних щитов [15, 20, 22]; в) одного из ключевых и нередко единственных источников информации о древних мантийно-коровых процессах, исходном составе расплавов и степени их ассимиляции [17, 39]; г) индикаторов сложных систем длительно формирующихся тектонических зон, контролирующих размещение полезных ископаемых в пределах разноранговых структур земной коры, которые испытали несколько этапов магматической активности, и составных частей магматических формаций, рубежных индикаторов их многостадийного становления [26, 36]. 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 [1, 8, 26]. Особенно значительна их роль в магматическом рудогенезе при формировании сульфидных платиноидно-медно-никелевых и мало-сульфидных платинометалльных месторождений.

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 платиноносные месторождения и рудопроявления образуют в совокупности с последними специфические 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 [23]. В подобных РМС дайковые образования являются не только важнейшим структурно-вещественным, но и рудонесущим компо-

Таблица 1. Главнейшие типы платиносодержащих сульфидно-никелевых РМС и связанных с ними месторождений

Геодинамические режимы	Типы магмородукоkontролирующих структур	Типы рудоносных магматических формаций (РМФ)		Петрохимические типы сульфидно-никелевых РМС			Примеры рудных районов и месторождений
		Эффузивные	Интрузивные	MgO	Ni/Cu	Pt/Pd	
1	2	3	4	5	6	7	8
Платформенный (кратонный)	Континентальные рифты, в т.ч. тройного сочленения	Пикрит-базальтовая (трапповая, платобазальтовая)	Дифференцированных пикрит-габбро-долеритовых тел (норильский тип)	1. <i>Норильско-талнахский</i> умеренно-магнезиальный никелево-медный			Норильск-Талнах (Россия), Инсизва (ЮАР), Маскокс (Канада)
				$\frac{10-16}{1-30}$	0.5–1	0.1–0.4	–
	Внутриконтинентальные рифты	–	Габбро-троктолитовых интрузий и даек	$\frac{6-10}{4-12}$	1–3	0.3–1	Войсис Бэй (Канада)
Раннеплатформенный (кратонный)	Внутриконтинентальные рифты, зоны протоактивизации	Пикрит-платобазальтовая	Дифференцированных габбро-троктолитовых комплексов и силлов (дулутский тип)	2. <i>Дулутский</i> мало-умеренно-магнезиальный, никелево-медный			Дулут (США)
				$\frac{8-10}{1-20}$	0.1–0.4	0.1–0.4	–
Орогенный	Подвижные зоны, глубинные разломы, зоны тектономагматической активизации	Натриевых базальтов; андезито-базальтовая; габбро-диабазовая; трахибазальтовая	Дунит-гарцбургитовая; дунит-пироксенит-габбровая; перидотит-пироксенит-норитовая; норит-кортландитовая и др.	3. <i>Аппалачский</i> , роновский, хабарнинский (уральский), повышенно-магнезиальный медно-никелевый			Рона (Норвегия), месторождения Аппалачей, Мокси (США); Ю. Урал, Кувалорог (Россия)
				$\frac{5-25}{2-40}$	1–4	0.4–1	–
Протоплатформенный (прогрессирующей стабилизации)	Реактивизированные рифтогенные пояса (континентальные)	Пикрит-базальтовая (базальт-риодацитовая)	Габбро-клинопироксенит-верлитовая (печенгский тип)	4. <i>Печенгский</i> повышенно-магнезиальный, медно-никелевый			Печенга (Россия), Пояс Коталахти (Финляндия), Кейп Смит (Канада), Джинчуан (Китай)
				$\frac{18-25}{5-35}$	2–5	1–2	–
	Зоны автономной протоактивизации, реактивизированные рифтогенные зоны	–	Ортопироксенит-норит-диоритовых субвулканических тел	5.1. <i>Еланский</i> маломагнезиальный никелевый			Елань, Ёлка, Шануч (Россия)
				$\frac{4-12}{2-24}$	5–40	0.5–1.5	–
	Импактная структура	Импактный расплав	Норит-диоритовых плутонов (еланский тип)	5.2. <i>Садберийский</i> гибридный низкомагнезиальный, медно-никелевый			Садбери (Канада)
				$\frac{2-6}{2-16}$	1–3	0.6–1	–

Таблица 1. Окончание

1	2	3	4	5	6	7	8
	Зоны рассеянного спрединга с крайне ограниченным латеральным растяжением		Дунит-перидотит-габброноритовая (мамонский тип)	6. Мамонский повышенно-магнезиальный, медно-никелевый			Нижнемамонское, Юбилейное (Россия), Лин-Лейк (Канада)
				$\frac{20-25}{3-35}$	2-3	1-2	
Протоактивизации	Кратоны, рифтинги кратонов, проторифты	Высоко-магнезиальных андезитов базальтов и пикритов базальтов	Норит-ортопироксенит-перидотитовая (мончегорский и бушвельдский типы)	7. Мончегорский, бушвельдский магнезиальный, собственно медно-никелевый			Мончегорск (Россия), Бушвельд, В.Дайка (Африка), Стиллуотер (США)
				$\frac{15-20}{1-40}$	1-3	0.2-2	
Энсиалического рифтогенеза (протогеосинклинальный)	Рифтогенные и линейные зоны повышенной проницаемости ("верхние" зеленокаменные пояса)	Коматиит-базальтовая (камбалдийский тип)	Дунит-перидотитовая (гарцбургитовая), габбронорит-перидотитовая (маунткейтский и аллареченский типы)	8.1. Маунткейтский ультрамагнезиальный высоконикелистый			1. Маунт Кейт (Австралия), Дьюмонт (Канада), Аллареченское (Россия)
				$\frac{28-33}{20-50}$	25-75	1.5	
				8.2. Камбалдийский высокомагнезиальный медисто-никелевый			2. Камбалда (Австр.), Абитиби (Канада), Шангани (Африка)
				$\frac{25-28}{20-45}$	5-25	1.5	
Пермобильный (нуклеократонизации)	Ареальные вулканотектонические структуры и магмоподводящие линеаменты ("нижние" зеленокаменные пояса)	Примитивная коматиит-базальтовая (рут-уэлловский тип)	Перидотит-пироксенит-габброноритовая (маншолловноозерский тип)	9.1. Маншолловноозерский (?) повышенно-магнезиальный медно-никелевый			1. Ман-Шолл (Австралия), Ловноозеро (?) в России
				9.2. Рут-уэлловский высокомагнезиальный медисто-никелевый			2. Рут-Уэлл (Австралия)
				$\frac{20-30}{5-45}$	3-20	~1	

Примечание. Авторская классификация [23–25] дополнена данными других исследователей [16, 18]. MgO – мас. %, числитель – пределы изменения средневзвешенных содержаний, знаменатель – пределы изменений содержаний в РМС.

нентом [26, 28]. Эта особенность наиболее отчетливо прослеживается в сульфидных платиноидно-медно-никелевых РМС (табл. 1).

Полигенность условий формирования и пространственно-генетическая связь сульфидного платино-

идно-медно-никелевого оруденения с различными по составу и формационной принадлежности рудобразующими и рудоконтролирующими структурно-вещественными комплексами, сформировавшимися в геодинамических режимах наиболее интенсив-

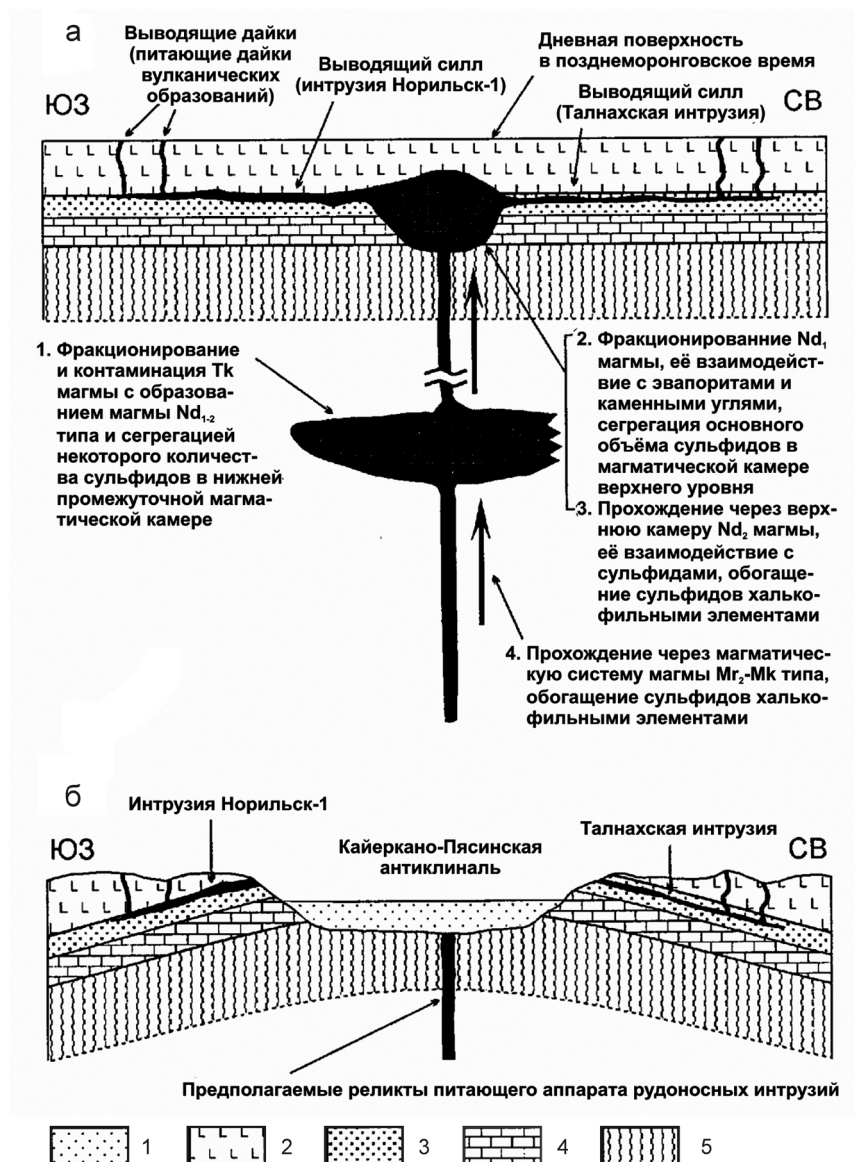


Рис. 1. Модель развития магматической системы центральной части Норильского района (а) в туклонское (Тк), надеждинское (Nd) и моронговское (Mr) и мокулаевское (Mk) время (триас) и схематический геологический разрез (б) после тектогенеза и эрозии (современный структурный план). Вертикальный масштаб разрезов сильно преувеличен относительно горизонтального (по [18]).

1 – четвертичные отложения, 2 – триасовые вулканические образования, 3 – тунгусская серия (верхний палеозой), 4 – девонские отложения, 5 – кембрийские и силурийские отложения.

ной эндогенной активности и структурной дифференциации земной коры, обуславливают в совокупности многообразие формационно-генетических типов месторождений, поливариантный характер распределения количественных содержаний благородных (платиноиды) и цветных (Ni, Cu, Co) металлов и соотношений их ассоциаций с лито- и сидерофильными элементами [23, 24]. Эти же факторы определяют минералого-геохимический облик, масштабы и степень продуктивности всей рудообразующей системы, включая дайковые образования [25, 28].

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 сульфидного платиноидно-медно-никелевого рудообразования. Первая из них представлена сложными по морфологии и составу дайкообразными под-

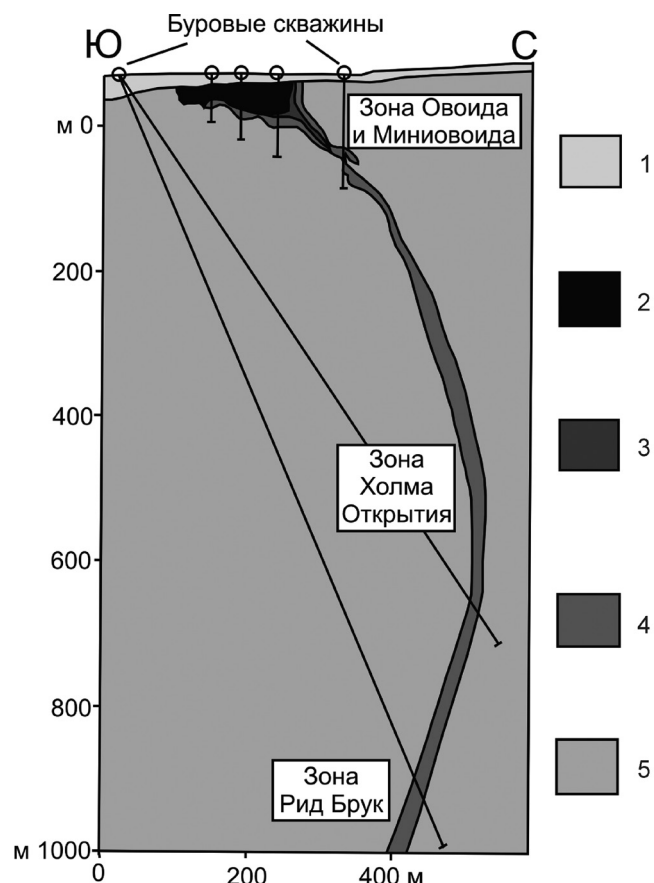


Рис 2. Обобщенный геологический разрез, отображающий морфологию магматического проводника в зонах Овоида, Миниовоида, Холма Открытия и Рид Брук (по [37], с дополнениями [18]).

1 – четвертичные отложения; 2 – массивные сульфиды; 3 – породы габбро-троктолитового состава, содержащие 10–25% сульфидов; 4 – породы габбро-троктолитового состава, содержащие менее 10% сульфидов; 5 – вмещающие гнейсы.

водящими каналами – проводниками магматических сульфидоносных расплавов в магматическую камеру; нередко они сами по себе являются самостоятельными рудообразующими и рудовмещающими 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, 8]); б) внутриинтрузивными (интрагматическими) жильными отщеплениями интеркумulusного расплава и продуктами неоднократно поступающих в конечную камеру магм с образованием автономно кристаллизующихся петрорудосистем [26]. 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 [26]. По осо-

бенностям 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, связанных с одним или несколькими разновозрастными магматическими источниками.

Группа даек – подводящих каналов (проводников) РМС и связанные с ними месторождения

Эта группа даек выступает в качестве подводящих, нередко длительно функционирующих каналов с неоднократным поступлением новых порций сульфидизированных расплавов в конечную камеру, определяя тем самым состав и условия формирования интрузивов и ассоциирующих 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 в большинстве выделенных типов РМС.

С силлами и дайкообразными телами, выступающими в качестве подводящих, длительно функционирующих каналов коматиитового расплава, предполагается генетическая связь сульфидных месторождений (Ланнон, Фишер, Джуан, Мак-Матон, Кеп), размещающихся в архейском куполе Камбалда (Зап. Австралия) и характеризующихся 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. Эруптивные центры, сопровождающиеся сульфидным оруденением, рассматриваются [18, 32, 33] в качестве лавовых каналов в областях раннепротерозойского магматизма Канады (месторождение Дюмонт в Квебеке; ряд месторождений в никелевом поясе Томпсон). В месторождении Грейт Лэйкс Никел (пров. Онтарио, Канада) сульфидные платиноидно-медно-никелевые руды в дифференцированных габброидах (нориты, анортозиты, оливковые нориты, пегматоидные габбро) “сливаются” с дайкой рудоносных пикритов. Эта комбинация дайки и интрузии рассматривается в качестве магматического проводника и подобна минерализованным питающим дайкам (проводникам) Норильского района, положение которых наиболее полно отражено на модели, предложенной в [18] (рис. 1). Медно-никелевая минерализация характерна для многих, в том числе дифференцированных габбродолеритовых даек Центрального Таймыра [4, 16].

Одним из наиболее типичных примеров проявления питающих дайкообразных тел – магматических рудонесущих каналов является месторождение Войсис Бэй (Лабрадор, Канада). Месторождение связано с обнаженным, сложным по морфоло-

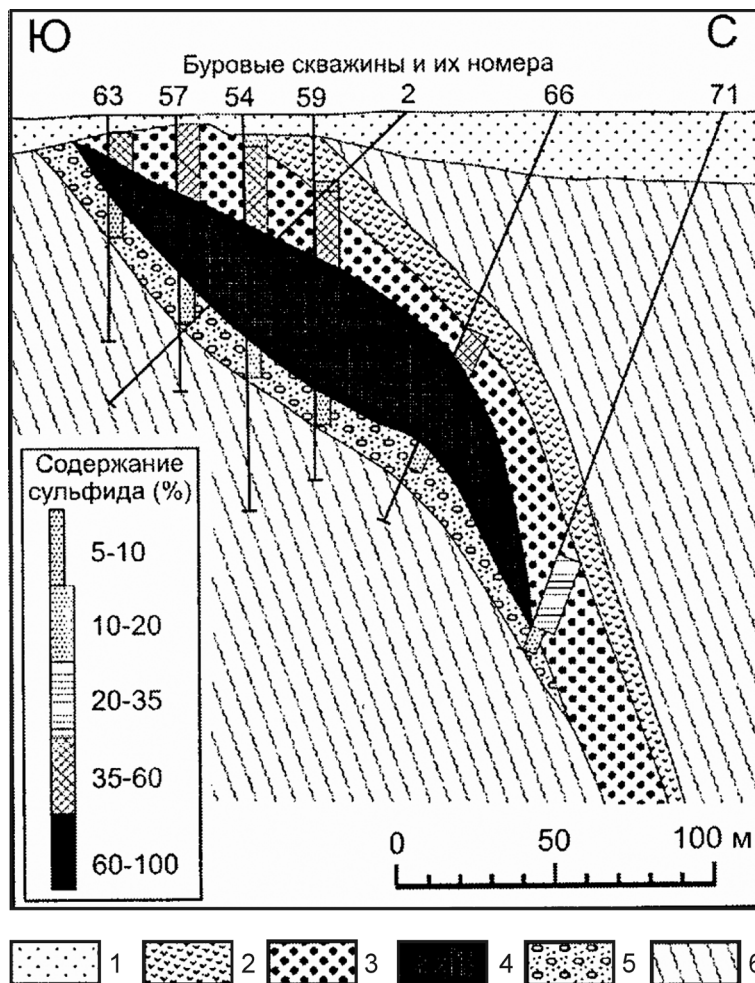


Рис. 3. Геологический разрез Миниовоида (по [40]).

1 – четвертичные отложения, 2 – оливиновые габбро проводника, 3 – леопардовые троктолиты, 4 – массивные сульфиды, 5 – магматические брекчии, 6 – эндербитовые гнейсы.

гии, нижнепротерозойским магматическим телом и включает пять зон (рудных тел), четыре из которых (Овоид, Миниовоид, Холм Открытия, Рид Брук) непосредственно приурочены к питающему магматическому проводнику (рис. 2). 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 раздвиг типичного магматического проводника (рис. 3). В расширенной и более глубокой части рудонесущего канала располагаются руды Холма Открытия и Рид Брук (рис. 2, 4). Химические составы различных типов руд приведены в табл. 2.

На данной стадии изучения (месторождение открыто в 1993 г.) обосновывается модель [18, 41] двукратного поступления расплава через дайкообразный магматический проводник, 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 дайкообразным дифференцированным (от дунитов в центре до оливиновых пироксенитов в краевой зоне) телом, протяженностью около 6 км при средней ширине (мощности) 300 м, связано месторождение Джинчуан (Китай; рис. 5), 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 вер-

тикально залегающих рудных залежи протяженностью от 1000 до 1600 м при мощности 100–200 м, сложенные преимущественно вкрапленными и сетчатыми рудами ($Ni = 0.8\text{--}4$ вес. %, $Cu = 0.6\text{--}1.7\%$, ЭПГ до 1 г/т), которые нередко содержат шпиль и сопровождаются секущими жилами (мощностью 1–5 м) массивных руд ($Ni = 4\text{--}9$ вес. %, ЭПГ от 2.4 до >9 г/т). Считают [18, 31], что важную роль в формировании наблюдаемой на месторождении зональности играл процесс дифференциации течения, при котором, зерна высокоплотных минералов концентрируются вблизи центра магматического проводника (рис. 5, г), 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. А. Дж. Налдретт подчеркивает, что "...этот процесс был сродни тому, который происходил в Норильске: течение свежей магмы через проводник, где находились сульфиды, увеличивало содержание металлов в сульфидах..." ([18], с. 272).

К числу гигантских по степени продуктивности и масштабам (протяженность 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. 6), которые обособлены на основе структуры тела и характера расслоенности пород [43, 44]. В вертикальном разрезе выделяется нижняя ультрамафитовая серия (мощностью более 2000 м), представленная дунитами, гарцбургитами и пироксенитами (бронзититами) с прослоями хромитов, 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.

Предполагается, что цикличность обусловлена периодическими поступлениями в интрузивные камеры свежей магмы одного и того же состава, которая представляла собой высокомагнетизальный расплав, содержащий около 15 вес. % MgO . Согласно интерпретации [43], 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 (рис. 6).

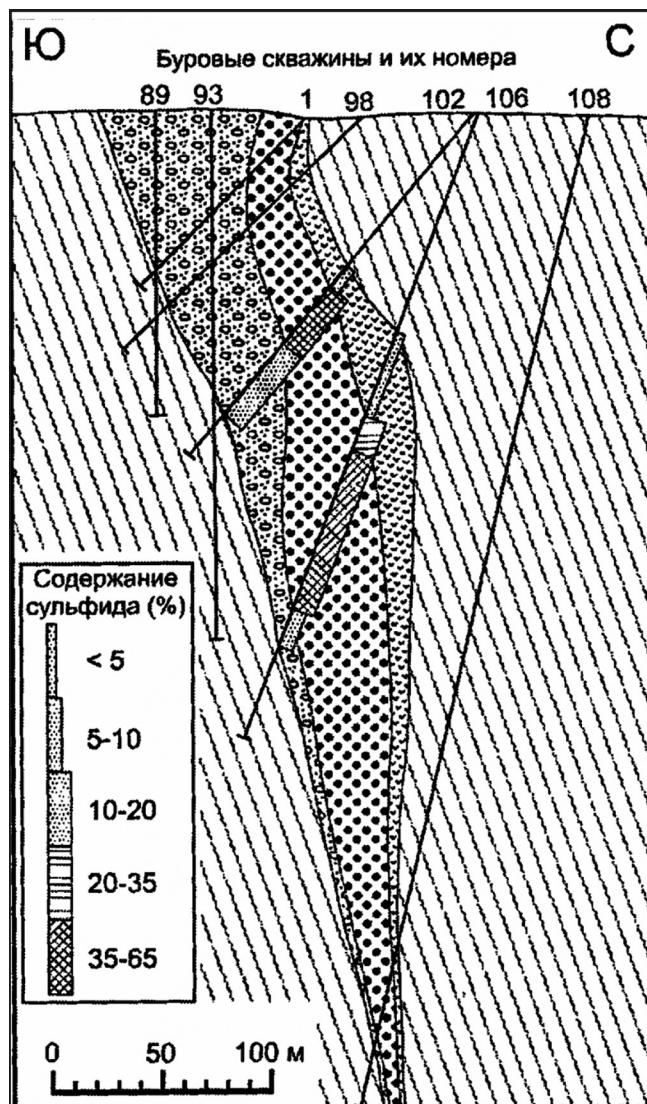


Рис. 4. Геологический разрез зоны Холма Открытия (по [36 и 40], с изменениями [18]).

Условные обозначения см. рис. 3.

Основное платинометалльное оруденение связано с двумя сульфидными зонами – Главной и Нижней, которые располагаются ниже габбро и оливковых габбро верхней части внутри ортопироксенита (бронзитита). Мощность последнего варьирует от 1 до 15 м в Главной сульфидной зоне и от 30 до 80 м – в Нижней, при этом содержание Ru , Ir , Os , Pd , Rh , Pt и Au увеличивается от краевой к центральной части (табл. 3).

Группа рудонесущих даек, сопряженных со становлением интрузивных массивов в конечных камерах

Различные по составу, масштабам и степени проявления дайки этой группы являются важ-

Таблица 2. Средние химические составы руд месторождения Войсис Бэй (по [18])

Типы руд Зоны месторождения	К-во обр.	S	Ni	Cu	Co	Pd	Pt	Rh	Ru	Ir	Os	Au	Pd/Pt
Массивные руды													
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
Леопардовые руды													
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
Руды магматических брекчий													
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).

нейшим 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 (разнообразные по составу дифференциаты) во вмещающих породах (перимагматические дайки); б) внутриинтрузивными жильными отщеплениями интеркумулусного или самостоятельной порции расплава с образованием автономно кристаллизующихся петрорудосистем [17, 26].

Дайки-апофизы, в том числе промышленно рудоносные, характерны для большинства главных типов сульфидных платиносодержащих медно-никелевых РМС [2, 11, 13, 14, 16, 18, 26]. Среди уникальных по масштабам проявления и рудонесущей роли особое место занимают дайки-апофизы, получившие название офсетов Садбери (Канада, пров. Онтарио), импактного по своей природе и крупнейшего по запасам цветных и благородных металлов месторождения. Рудонесущий расслоенный магматический комплекс Садбери (МКС), с возрастом 1.85 млрд. лет, расположен в пределах Канадского щита в зоне контакта архейских (2.5 млрд. лет) и нижнепротерозойских (гуронских) образований. В современном тектоническом плане комплекс Садбери и перекрывающие образования представлены

серией концентрических, погружающихся к центру, тел эллипсоидной формы. Структура в целом имеет форму бассейна (рис. 7).

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 пререзают все породы, предшествующие комплексу Садбери. Брекчия Футволл образована обломками вмещающих пород с небольшим количеством обломков ультрамафитов 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) гранофиов; 2) залегающие вокруг главного тела МКС тела Саблеара (мелкозернистые нориты и габбро); 3) офсетов (рудонесущие дайки).

Офсетов представляют собой дайки и дайкоподобные тела, расположенные радиально, в некоторых случаях концентрически по отношению к главному телу МКС (рис. 8). Они удаляются на рассто-

Таблица 3. Содержания ЭПГ и Au (г/т) в 100-процентном сульфиде Главной сульфидной зоны Великой Дайки Зимбабве в краевой и осевой (врезка, рис. 6) частях интрузии (по [18])

	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

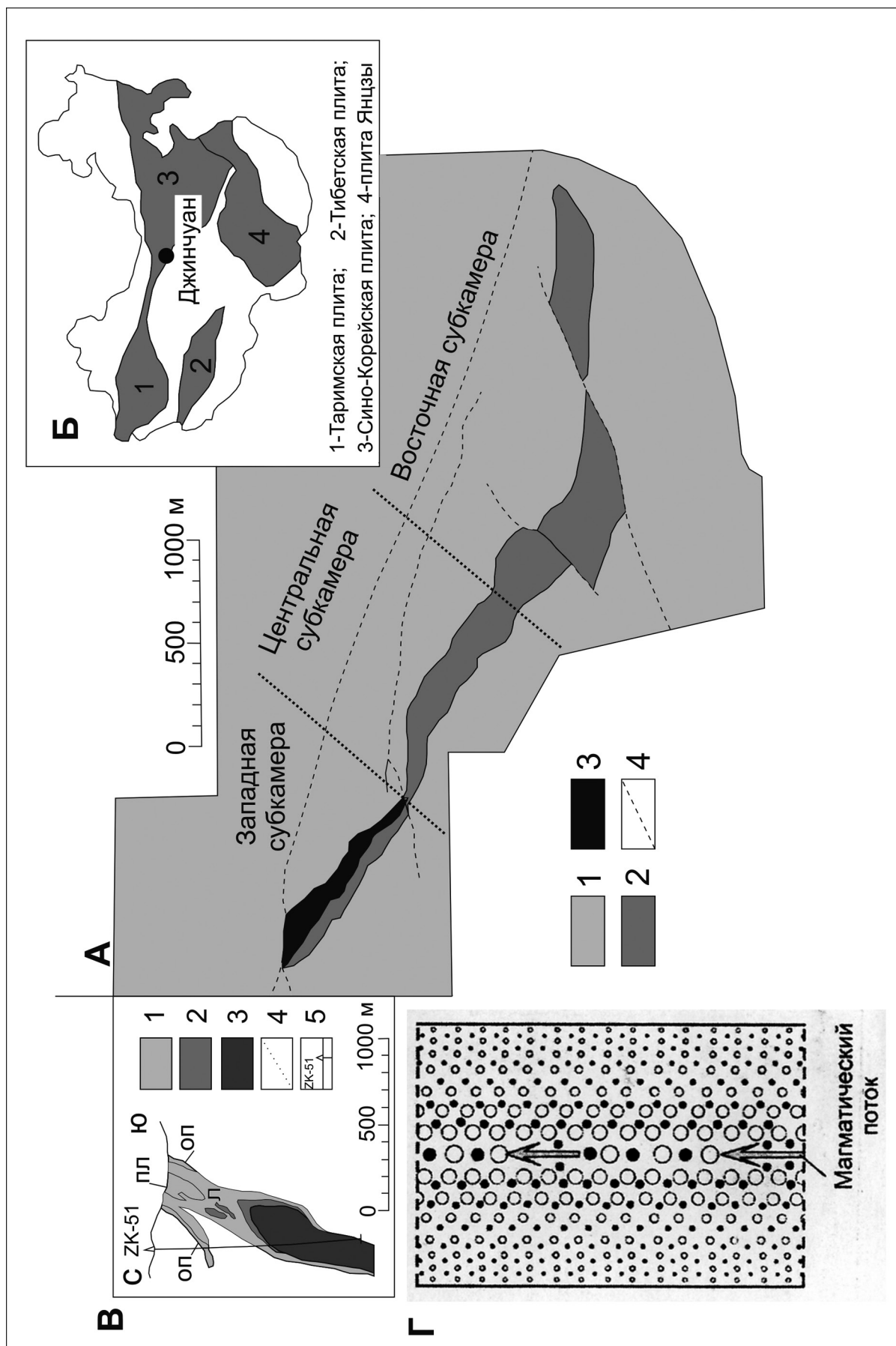


Рис. 5. Схематическая геологическая карта района месторождения Джинчуан (а), его местоположение (б), поперечный разрез Центральной субкамеры (в) (по [18], с изменениями) и модель дифференциации течения при формировании месторождения Джинчуан (г) (по [31]), объяснения в тексте.
а: 1 – комплекс пород раннего протерозоя, 2 – рудовмещающие породы месторождения, 3 – сульфидные руды, 4 – разломы, 5 – границы субкамер; в: 1 – перидолиты (П), плагиоклазовые перидолиты (ПП) и оливковые перидолиты (ОП), 2 – дуниты и сетчатые руды, 3 – вкрапленные руды, 4 – опорные скважины.

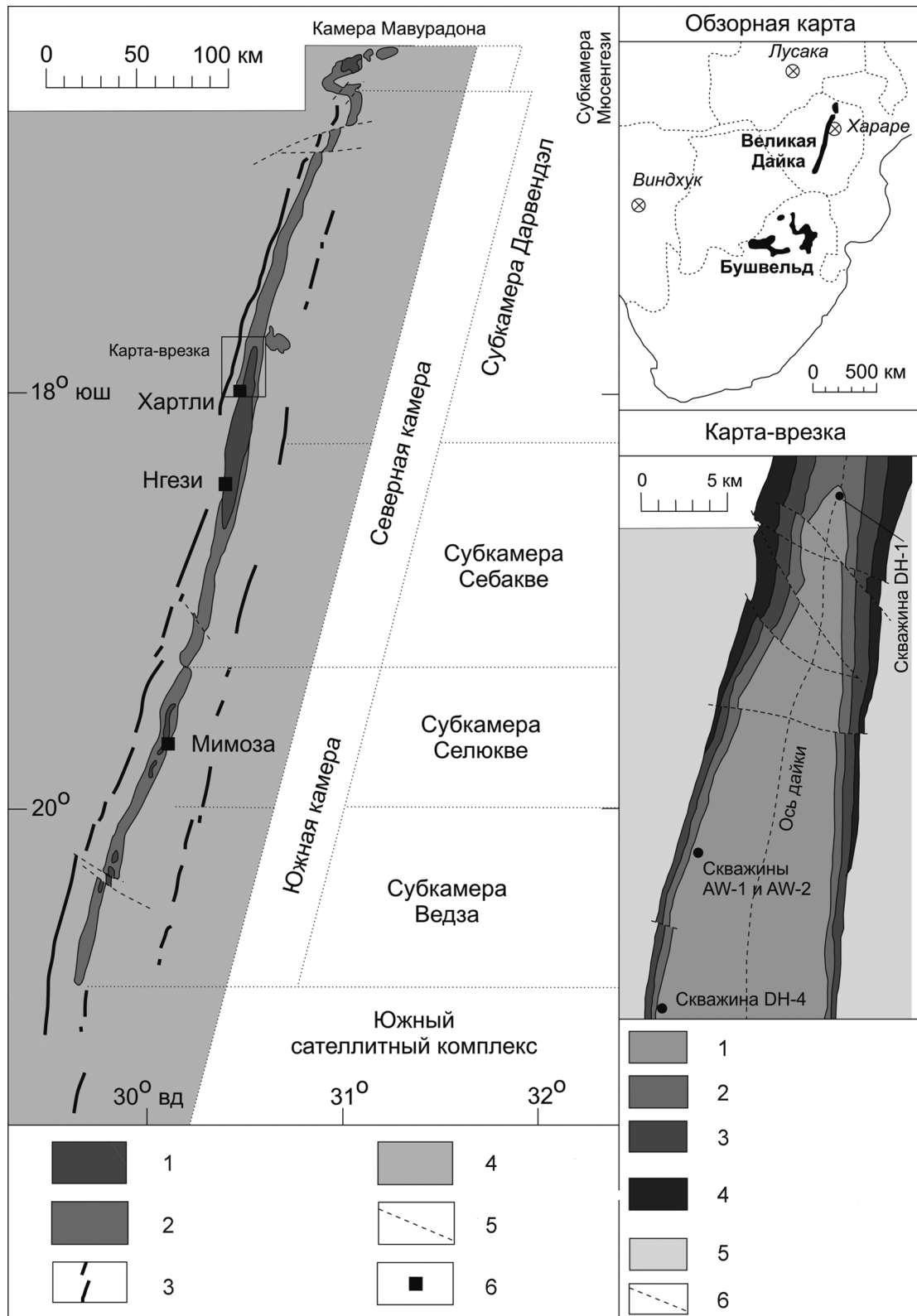


Рис. 6. Схематическая геологическая карта Великой Дайки Зимбабве с врезкой, где показано строение южной части субкамеры Дарвендэл. По [18, 43, 44].

На карте: 1 – габбро-нориты, оливиновые габбро; 2 – ультрамафитовые породы; 3 – сателлитные дайки; 4 – вмещающие породы; 5 – разломы; 6 – рудники. На врезке: 1 – габбро-нориты; 2 – пироксениты циклического тела 1 (ЦТ 1); 3 – гарцбургиты и оливиновые бронзиты ЦТ 1; 4 – ультрамафитовые породы, залегающие ниже ЦТ 1; 5 – вмещающие породы; 6 – разломы.

яние 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 объяснялись различной степенью контаминированности пород. Согласно [42], кварцевые диориты офсета представляют собой равномерно- и неравномерно-мелкозернистые до среднезернистые породы, сложенные мафитовыми минералами (45–55%), плагиоклазом (30–45%) и кварцем (5–15%) с небольшим количеством **Q-Pt гранофировых сростков и рудных минералов**.

Месторождения офсетов локализованы в образующих их дайках габбро-диоритов. Типичным является офсет Копер Клифф, который удаляется на 10 км от главного тела МКС в виде относительно маломощной (50–150 м) дайки (рис. 7, 8). Рудные зоны представляют собой круто падающие линзовидные тела массивных и интерстиционных руд, развитые в местах, где габбродиориты 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.

Крупнейшим является месторождение Фруд-Стоби, где офсет располагается не радиально, а параллельно по отношению к южному контакту МКС (рис. 7, 8). 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.

Руды в дайковых образованиях по минеральному составу комплементарны другим типам месторождений Садбери и представлены [18, 34]: а) главными (пирротин гексагональный и моноклинный, пентландит, халькопирит, пирит, магнетит); б) второстепенными (кубанит, галенит, сфалерит, миллерит, никелин, герсдорфит, кобальтин); в) аксессуарными (самородные Au, Ag, Bi, гессит, тетрадимит, маухерит, борнит, алтаит, аргентопентландит, макинавит и др.); г) минералами платиновой группы (майнерит, сперрилит, инсизвайт, сэдберит, фрудит, котульскит, нигглиит, меренскит, мертиит).

Обобщенная модель развития рудонесущих офсетных даек Садбери приведена в работах [18, 42]. В соответствии с этой моделью, при ударе мете-

орита 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 обогащен компонентами подстилающих пород и включал их нерасплавленные обломки. Внедряясь в трещины вмещающих пород, первичный импактный расплав образовал офсетные дайки (рис. 9).

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 счет обогащенного флюидами и металлами интеркумулусного расплава при становлении дифференцированных плутонов и автономном развитии самостоятельных петрорудогенетических систем единых длительно развивающихся рудно-магматических колонн или очаговых зон.

К этой группе относится ряд внутриинтрузивных (интрамагматических) даек Мончегорского плутона [13, 19, 30]. Помимо пегматоидных жильных образований с сульфидной медно-никелевой минерализацией, встречающихся по всему разрезу плутона, на месторождениях Сопчи 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, макинавит, галенит, сфалерит, миллерит, теллурувисмутит, алтаит, минералы платиновой группы и др.).

В поле рудоносной интрузии Норильск I описана дайка мощностью 8–20 м, состоящая из контактового габбродолерита и такситового габбродолерита с сульфидной медно-никелевой минерализацией. Здесь же присутствуют эруптивные дайки [16].

Комплекс Бушвельд (возраст 2.60 млрд. лет) в Южной Африке – один из крупнейших (450 × 250 км) в мире многофазный мафит-ультрамафитовый дифференцированный (ритмично-расслоенный) плутон с рядом автономных платиносодержащих (хромитовая, сульфидная медно-никелевая, титаномагнетитовая, малосульфидная собственно платинометаллическая) петрорудосистем. Мощная (около 10 км) расслоенная серия Ростенбург сопровождается многочисленными, разнообразными по составу рудонесущими силлами, дайками, своеобразными вертикально залегающими пегматоидными трубками (дунитовые и гортонолитовые платиноносные трубки Онвервах, Мооихек, Дрископ,

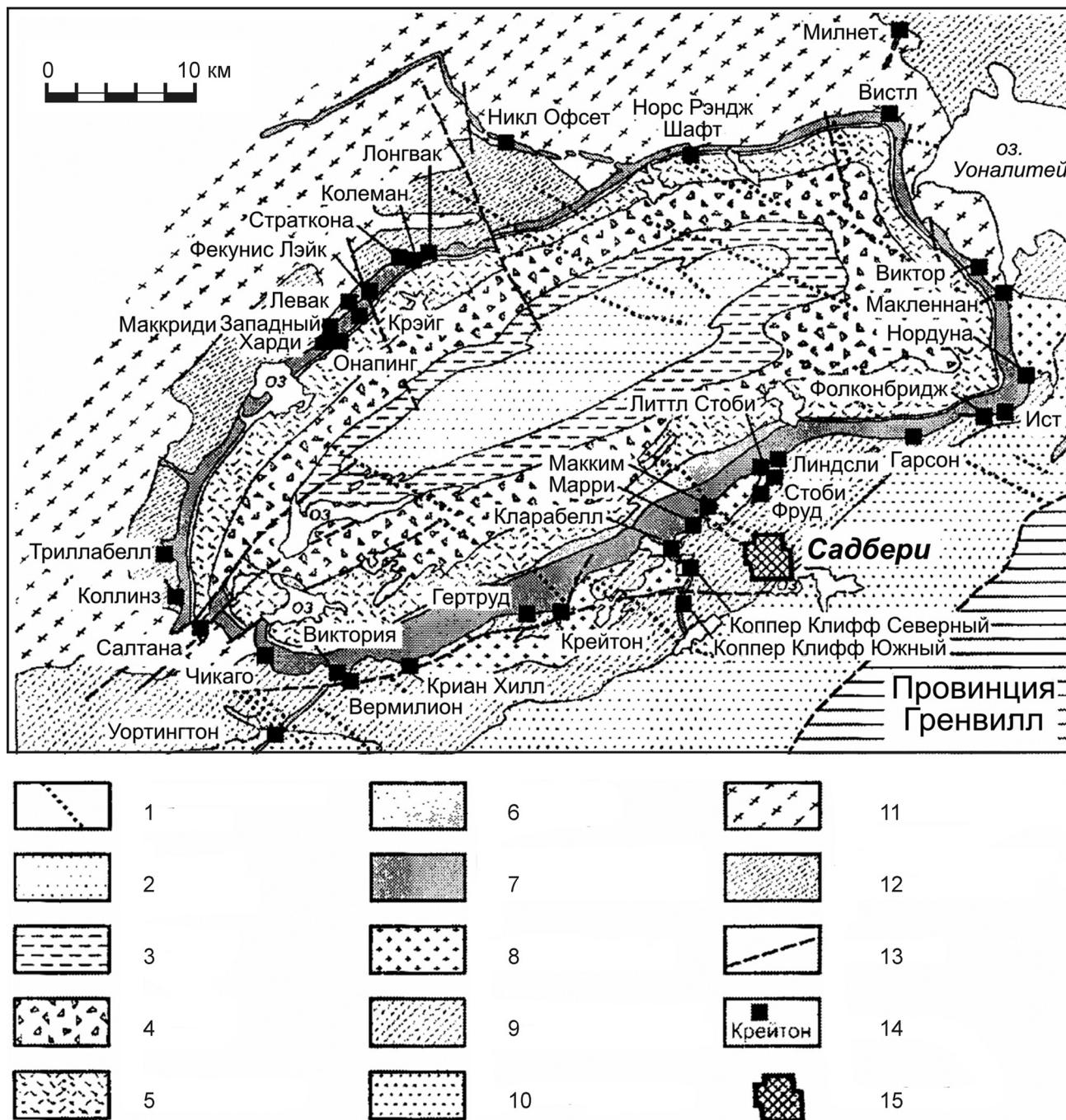


Рис. 7. Геологическая карта района Садбери [18].

1 – дайки оливиновых диабазов; 2 – формация Челмсворд; 3 – формация Онватин; 4 – формация Опапинг; 5 – гранофиры магматического комплекса Садбери (МКС); 6 – кварцевые габбро МКС; 7 – нориты, породы Саблеара и офсетов МКС; 8 – гуронские граниты; 9 – гуронские граувакки и вулканические породы; 10 – гуронские кварциты; 11 – архейские граниты, тоналиты и вулканические породы; 12 – архейские гранулитовые гнейсы Левак; 13 – разломы; 14 – рудники; 15 – город Садбери.

никеленосные сульфидосодержащие бронзититовые типа Твифонтейн и др.). Размер трубок изменяется от десятков и сотен метров до 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 [35].

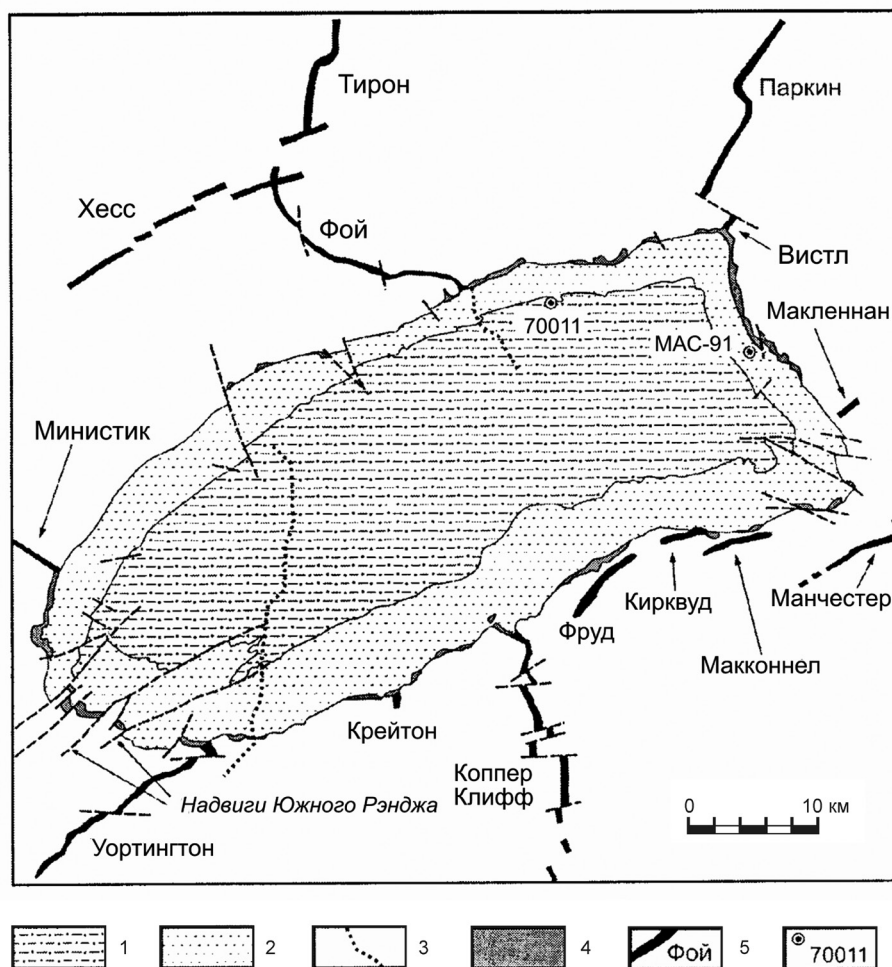


Рис. 8. Распространение даек офсетов в магматическом комплексе Садбери (по [42]).

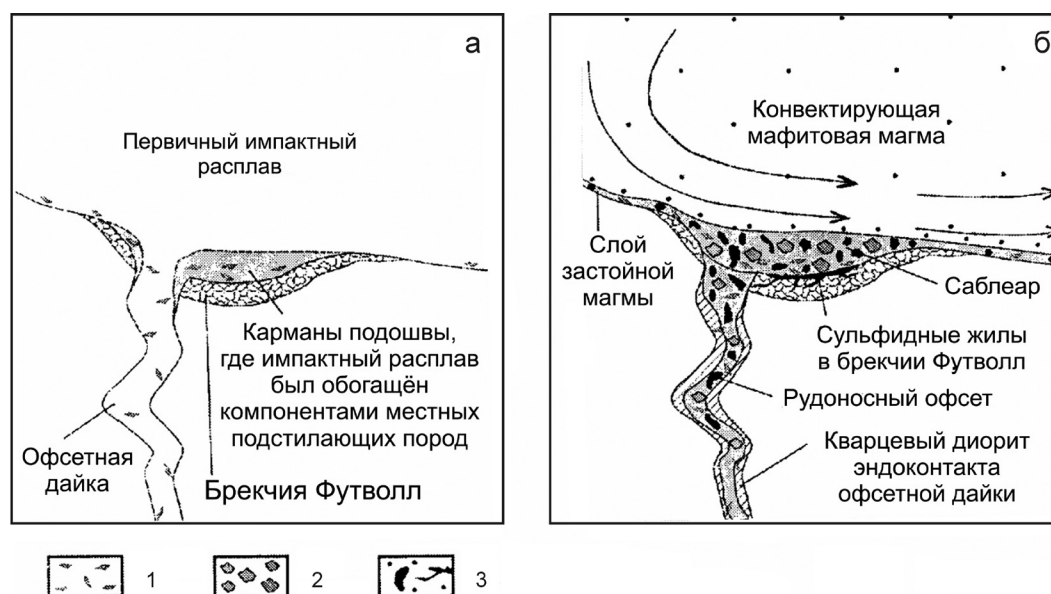


Рис. 9. Модель развития Саблеара и офсетной дайки при зарождении магматического комплекса Садбери (а) и при накоплении сульфидов (б) [18, 42].

1 – обломки местных подстилающих пород, 2 – обломки мафит-ультрамафитовых пород, 3 – сульфиды.

Таблица 4. Средние содержания Ni, Cu, Pt и Pd в рудах некоторых месторождений офсетов Садбери в пересчёте на 100-процентный сульфид по данным [18, 38]

Месторождение	Ni (вес. %)	Cu (вес. %)	Pt (г/т)	Pd (г/т)
Кларабелл	6.5		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

В ультрамафит-мафитовом комплексе Лак дес Ил (Канада, пров. Онтарио) в платиноносном интрузивном субкомплексе широко развиты интрамагматические секущие тела такситовых габбро, переходящие в пегматоидные лейкогаббро, которые в свою очередь пересекаются жилами габбровых 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 массива [33].

РУДОНЕСУЩИЕ ДАЙКИ СУЛЬФИДНЫХ ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РМС МАМОНСКОГО И ЕЛАНСКОГО ТИПОВ ВКМ

При достаточно широком проявлении в докембрийском фундаменте Воронежского кристаллического массива (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 [24]: а) дунит-периidotит-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-дайковыми 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 [27, 28].

Граничными признаками мамонского типа месторождений (Нижнемамонское, Подколodновское и др.) выступают: 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, локализующегося 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 (Ni – 1.67–5.93 мас. %; Cu – до 4.01%; Co – 0.08–

Таблица 5. Среднее содержание цветных (мас. %), благородных (г/т) металлов и серы (мас. %) в сульфидной фазе жильных медно-никелевых руд месторождений Сопча и НКТ Мончегорского плутона (по [30])

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, глубинные 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

0.16%; ЭПГ – до 1.5–2.5 г/т; Pt/Pd = 1) **густовкрапленных**, массивных и брекчиевидных 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 [24, 26]: 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-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 1.98 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 сульфоарсенидов.

Важнейшим структурно-вещественным и рудонесущим компонентом мамонского и еланского типов РМС (до 6–12% объема) являются дайковые образования, среди которых, подобно другим вышеохарактеризованным типам сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений, выделяются три группы [26]. Геолого-структурные, минералогическо-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 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 [26, 28].

Среди этих типов, обобщенная характеристика которых приведена в работе [28], особое место занимает Юбилейное месторождение, в котором в качестве рудонесущего компонента выступает дайковая ассоциация пород многократного вне-

дрения. Внутренняя структура Юбилейного месторождения определяется его пространственно-генетической связью с серией отдельных (автономных) и близкорасположенных параллельных крутопадающих (70–75°) дайковых тел субмеридионального направления с “прослоями” вмещающих пород (рис. 10). В совокупности они образуют единый достаточно протяженный (свыше 6 км) при мощности от 50 до 250–300 м дайково-жильный комплекс многофазного внедрения, включающий не менее пяти различных по возрасту, составу, формационной принадлежности и степени продуктивности последовательно сформировавшихся породных ассоциаций: 1) перидотиты (преимущественно роговообманковые гарцбургиты и лерцолиты, их серпентиниты); 2) оливин-плагноклазсодержащие и оливин-роговообманковые (в том числе титан-роговообманково-содержащие) пироксениты и высокомагнезиальные оливин-пироксенсодержащие горнблендиты; 3) габбронориты, микрогаббронориты, роговообманковое и биотит-роговообманковое габбро, умеренно магнезиальные безоливиновые горнблендиты габброидного ряда; 4) габбродиориты и диориты завершающей фазы становления мамонского комплекса; 5) гранитоиды бобровского комплекса (2022 ± 3 млн. лет) и лампрофиры. В современном виде Юбилейное месторождение представляет собой лишь фрагмент глубоко эродированного длительно функционирующего магморудонесущего канала, обнаруживающего в известной мере определенные черты сходства с рудонесущим дайкообразным телом месторождения Джинчуан (рис. 5). Каждая из слагающих его породных ассоциаций, относящихся к мамонскому комплексу, является, по существу, самостоятельной петросистемой, при этом в качестве рудонесущего компонента системы выступают ранние сульфидоносные ультрамафитовые магматические расплавы.

В пределах Юбилейного месторождения выявлено несколько различных по мощности (от 3–5 м до 60–85 м) и протяженности (от сотен метров до 1 км) зон платиноидно-медно-никелевого оруденения халькопирит-пентландит-пирротинового состава, при этом его размещение определяется внутренней структурой в сочетании с петрологическими факторами. Подобно другим месторождениям мамонского типа в качестве благоприятных структурно-петрологических факторов локализации руд выступает: а) наиболее обогащенная оливином ранняя по времени внедрения перидотитовая породная ассоциация (гарцбургиты, лерцолиты), содержащая ксенолиты оливиновых пироксенитов и, иногда, субультрамафитовых горнблендитов, более обедненных рудонесущими компонентами.

В строении основной промышленно значимой рудной залежи в ультрамафитовой породной ассоциации дайкового комплекса выделяется два ведущих структурно-текстурных типа руд [26, 28]:

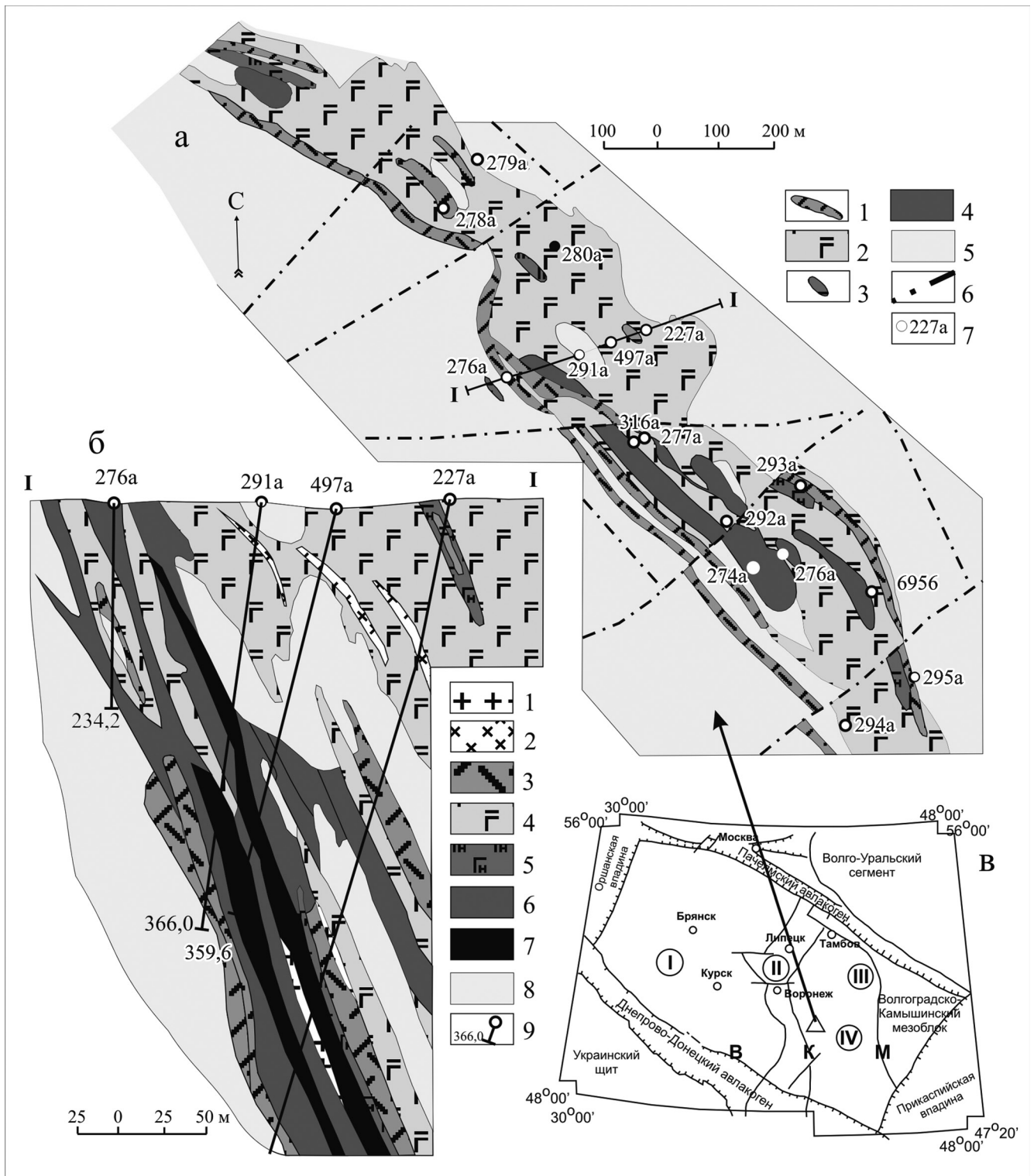


Рис. 10. Схематическая геологическая карта (а), разрез (б) и положение Юбилейного месторождения сульфидных платиноидно-медно-никелевых руд в структуре ВКМ (в).

а: 1 – плагиогорнблендиты, 2 – роговообманковое габбро, 3 – габбронориты, 4 – ультраосновные породы, 5 – гнейсы, 6 – тектонические нарушения, 7 – скважины и их номера; б: 1 – гранитоиды, 2 – диориты, 3 – горнблендиты и тремолиты по ним, 4 – роговообманковое габбро, 5 – габбронориты, 6 – ультраосновные породы (оливин-роговообманковые пироксениты и плагиоклазовые перидотиты), 7 – сульфидные медно-никелевые руды, 8 – гнейсы воронцовской серии, 9 – скважины и их глубина; в: I – мегаблок КМА, II – Лосевская шовная зона, III – Хоперский мегаблок, в том числе IV – Калач-Эртильский макроблок.

Таблица 6. Типы медно-никелевых и кобальт-медно-никелевых руд в дайковых образованиях еланского типа РМС Воронежского кристаллического щита.

Состав рудовмещающих дайково-жилых образований	Текстурные типы руд	Содержание рудообразующих элементов	Минеральные типы и состав руд	Примеры месторождений и рудопроявлений
<i>I тип – ассоциирующие с дайками ортопироксенитов, предшествующих образованию сульфидно-медно-никелевых руд в интрузивных норитах</i>				
Дайки ортопироксенитов среди Елань-Колесовского ультрамафит-мафитового плутона мамонского комплекса	Вкрапленные Гнездово-вкрапленные	Ni = 0.78–1.10 Co = 0.05–0.07 Cu = 0.17–0.20 Ni = 1.70 Co = 0.15 Cu = 0.25 Pt+Pd = 0.35 Au = 0.46	Халькопирит-пентландит-пирротинный с существенной ролью арсенидов и сульфидов 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 (?), тунгстениит, пирит, графит и др.	Центральное
<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-пирротинный с ограниченным развитием сульфидов Ni и Co (кобальтин, герсдорфит, никелин, Ульманит, маухерит), арсенопирит, теллуrowисмутит, молибденит, сфалерит, хромшпинелиды, магнетит, ильменит и др.	В пределах Еланского и Елkinsкого месторождений
<i>III тип – ассоциирующие с внутрирудными дайками роговообманового габбро и их пегматоидами</i>				
1. Дайки роговообманового габбро среди рудоносных норитов	Вкрапленные Гнездово-вкрапленные Массивные	Ni = 0.47 Co = 0.02 Cu = 0.07 Ni = 3.42 Co = 0.05 Cu = 0.29 Ni = 5.45–6.25 Co = 0.09–0.10 Cu = 0.30–0.87 ЭПГ = 0.45	Халькопирит-пентландит-пирротинный с арсенидами и сульфидов Ni и Co (герсдорфит, кобальтин, Никелин, гаухекорнит, маухерит, ульманит, раммельсбергит и др.), миллерит, арсенопирит, теллуrowисмутит, молибденит, сфалерит, галенит, пирит, борнит, макинавит, самородное золото, кубанит, данаит, аргентопентландит, алтаит, хромшпинелиды, магнетит, ильменит и др.	В пределах Еланского месторождения
2. Сульфидно-пегматоидные жилы среди даек роговообманового 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	Сульфидно-сульфидный кобальт-медно-никелевый (+ комплекс минералов, характерных для руд в дайках роговообмановых габбро)	Там же

Примечание. Содержание Ni, Co, Cu – в мас. %, платиноиды и золото – в г/т.

а) рассеянно-вкрапленные, 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 весь-

ма 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 густо-вкрапленных руд. По минеральному составу вкрапленные руды относятся 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-дайковой 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 суб-ультрамафитового ряда, сопровождающихся богатыми вкрапленными, гнездово-вкрапленными ($Ni = 0.37\text{--}2.84$ мас. %, $Cu = 0.21\text{--}0.39\%$, $Co = 0.03\text{--}0.16\%$) и массивными ($Ni = 2.38\text{--}3.40$ мас. %, $Cu = 0.21\text{--}0.30\%$, $Co = 0.11\text{--}0.21\%$, $ЭПГ = 0.46$ 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-дайкового комплекса мамонского типа РМС на основе модели транскоровой эволюции над локальными плюмами детально описана ранее [27].**

Эта модель в известной мере характерна и для процесса формирования сульфоарсенидно-сульфидной высоконикелистой платиноидно-кобальт-медистой РМС еланского типа, которая включает (табл. 6): а) **промышленно значимое оруденение в серии автономных крупных (протяженность около 4 км, при суммарной мощности до 200 м) рудонесущих дайковых тел ортопироксенитов, предшествующее формированию основной массы руд в интрузивной фации норитов;** б) **одновременное или близкоодновременное с магматическими 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 во времени формирования крайне бедное оруденение, ассоциирующее с завершающей диоритовой фазой и ее жильными комагматами, наследует лишь ряд рудногеохимических признаков, присущих длительно формирующейся РМС еланского типа [26].**

Общность структурно-вещественных, минералого-петрографических, петрогеохимических и рудногеохимических параметров с рудонесущими комагматами, многократное обогащение дайковых пород цветными и благородными металлами, определяет высокую потенциальную никель-платиноносность РМС мамонского и еланского типов.

Приведенные в настоящей статье данные для орогенных геодинамических и протоактивизационных режимов характерны и для некоторых других регионов России и зарубежья. В частности, о широком развитии на Урале сульфидных и малосульфидных платиноидно-медно-никелевых и платино-золото-никелевых объектов подробные сведения приведены в наших [24] и совместных других недавних работах [5, 6, 9, 10 и др.]. О рассеянном спрединге в Зауралье, характерном для мамонского типа сульфидно-никелевых РМС, говорится в статье К.С. Иванова [12], которая свидетельствует о возможности открытия новых аналогичных месторождений платиноидно-никелевых мезозойских руд в структурно-тектонических зонах этой обширной территории.

ВЫВОДЫ

Дайковые образования являются одним из важнейших 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 руднопетрологической принадлежности, месту в общей эволюции сульфидного платиноидно-медно-никелевого рудообразования: а) дайкообразные тела – подводящие каналы (проводники) сульфидных магматических расплавов, которые в ряде случаев сами по себе образуют самостоятельные автономные разномаштабные (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 интеркумулясного расплава и продукты новых (свежих) неоднократно поступающих в конечную камеру порций магмы с образованием самостоятельных автономных кристаллизующихся петрорудосистем.

Для каждой из выделенных групп рудонесущих даек разнотипных РМС (Бушвельд, Ю. Африка; Великая Дайка, Зимбабве; Войсис Бей, Садбери, Канада; Маунт-Кейт, Фишер и др., Зап. Австралия; Джинчуан, Китай; Норильская, Кольская, Воронежская группы, Россия) приводятся обобщенные руднопетрологические 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 в общий металлогенический потенциал цветных и благородных металлов.

Приведенные в настоящей статье данные для орогенных геодинамических и протоактивизационных режимов характерны и для некоторых других регионов России и зарубежья.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдуллаев Х. М. Дайки и оруденение. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 232 с.
2. Горбунов Г.И. Геология и генезис сульфидных медно-никелевых месторождений Печенги. М.: Недра, 1968. 352 с.
3. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А. Глубинная геодинамика. Издание второе. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал "ГЕО", 2001. 408 с.
4. Додин Д.А. Металлогения Таймыро-Норильского региона. СПб.: Наука, 2002. 822 с.
5. Додин Д.А., Золотов К.К., Коротеев В.А., Чернышов Н.М. Углеродсодержащие формации – новый крупный источник платиновых металлов XXI века. М.: ООО "Геоинформмарк", 2007. 130 с.
6. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Черединова О.И. Металлогения платиноидов крупных регионов России. М.: ОАО "Геоинформмарк", 2001. 302 с.
7. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платино-металлические месторождения России. СПб.: Наука, 2000. 755 с.
8. Ефремова С.В. Дайки и эндогенное оруденение. М.: Недра, 1983. 224 с.
9. Золотов К.К., Волченко Ю.А., Коротеев В.А. и др. Платино-металлические оруденение в геологических комплексах Урала. Екатеринбург: ДПР по Уралскому округу, ОАО УГЭС, ИГГ УрО РАН, Институт ГиГ УГГА, 2001. 199 с.
10. Золотов К.К., Додин Д.А., Коротеев В.А. и др. Тектоническое районирование и минералогия Урала (аналитический обзор). М.: Геокарт, ГЕОС, 2006. 180 с.
11. Золотухин В.В. Базитовые пегматоиды Норильских рудонесущих интрузивов и проблема генезиса платиноидно-медно-никелевого оруденения Норильского типа. Новосибирск: СО РАН, НИЦ ОИГТМ, 1997. 89 с.
12. Иванов К.С. Постколлизийная эволюция подвижных поясов // Тез. докл. междунар. науч. конф. (VI чтения А.Н. Заварицкого). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2001. С. 80–84.
13. Козлов Е.К. Естественные ряды пород никеленосных интрузивов и их металлогения. Л.: Наука, 1973. 288 с.
14. Конников Э.Г., Цыганков А.А. Соотношение постплутонических даек и эпигенетических сульфидных руд медно-никелевых месторождений // Докл. АН. 1997. Т. 354. № 4. С. 520–523.
15. Куренков С.А., Перфильев А.С. Дайковые комплексы и их тектоническая интерпретация // Геотектоника. 1984. № 5. С. 3–15.
16. Лихачев А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. М.: Эслан, 2006. 496 с.
17. Маракушев А.А., Безмен Н.И. Минералого-петрографические критерии рудоносности изверженных пород. М.: Недра, 1992. 317 с.
18. Налдретт А. Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометаллических руд. СПб.: Санкт-Петербургский госуниверситет, 2003. 487 с.
19. Расслоенные интрузии Мончегорского рудного района / В.Ф. Смолькин, Ж.А. Федотов, Ю.Н. Нерадовский и др. Апатиты: Кольский НЦ, 2004. Ч. 1. 117 с. Ч. 2. 177 с.
20. Рябов В.В., Гриб Д.Е. Дайковый пояс зоны спрединга севера Сибирской платформы // Петрология магматических и метаморфических комплексов. Новосибирск: СО РАН, 2002. С. 208–214.
21. Рябчиков И.Д. Механизм и условия формирования магм в мантийных плюмах // Петрология. 2003. Т. 11. № 6. С. 548–555.
22. Степанова А.В. Раннепротерозойские дайки долеритов северной части Карельского кратона: геология, геохимия, петрология // Геология и полезные ископаемые Карелии. Вып. 7. – Петрозаводск: Карел. НЦ РАН, 2004. С. 34–43.
23. Чернышов Н.М. Сульфидно-никелевые рудно-магматические системы (типизация и эволюция) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1990. № 11. С. 94–106.
24. Чернышов Н.М. Платиноносные формации Курско-Воронежского региона (Центральная Россия). Воронеж: Воронежский госуниверситет, 2004. 448 с.
25. Чернышов Н.М., Чернышова М.Н. Типы и эволюция сульфидных платиноидно-медно-никелевых рудно-магматических систем ВКМ // Петрология и минералогия Кольского региона. Тр. V Всерос. Ферсмановской науч. сессии, посвященной 90-летию со дня рождения Е.К. Козлова. Апатиты: Изд-во Кол. НЦ РАН, 2008. С. 209–211.
26. Чернышова М.Н. Дайки сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива. Воронеж: Воронежский госуниверситет, 2005. 368 с.
27. Чернышова М.Н. Модель трансформации эволюции интрузивно-дайковой рудномагматической системы над локальными плюмами при формировании сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений ВКМ (Центральная Россия) // Активные геологические и геофизические процессы в литосфере. Междунар. конф. Воронеж, 2006. С. 241–244.
28. Чернышова М.Н. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые и никель-кобальтовые руды в дайково-жилых комплексах и метасоматитах Воронежского кристаллического массива (Центральная Россия) // Литосфера. 2006. № 3. С. 71–82.
29. Шарков Е.В., Богатилов О.А., Красивская И.С. Роль мантийных плюмов в тектонике раннего докембрия восточной части Балтийского щита // Геотектоника. 2000. № 2. С. 3–25.

30. Яковлев Ю.Н., Докучаева В.С., Свияженин Ф.И. Мончегорский район – рудная база цветной и платинометаллической промышленности XXI века // Платина России. Том III. М.: АО “Геоинформмарк”, 1999. С. 161–172.
31. Barker D.S. Igneous Rocks. Prentice-Hall Inc. Englewood Cliff, New Jersey, 1983. P. 132–133.
32. Bleeker W. Evolution of the Thompson nickel belt and its nickel deposits. Manitoba, Canada, Unpublished Ph.D. thesis, University of New Brunswick, Fredericton, New Brunswick, 1990. 356 p.
33. Brugmann G.E., Naldrett A.J., Macdonald A.J. Magma mixing and constitutional zone refining in the Lac des Iles complex, Ontario: genesis of platinum-group element mineralization // Econ. Geol. 1989. V. 84. P. 1557–1573.
34. Cabri L.J., Laflamme J.H.J. The mineralogy of the platinum-group elements from some Cu-Ni deposits in the Sudbury area, Ontario // Econ. Geol. 1976. V. 71. P. 1159–1195.
35. Cawthorn R.G., Merkle R.K., Viljoen, M.J. Platinum-group element deposits in the Bushveld complex, South Africa // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements (ed. L.J. Cabri), Ottawa, Ontario, Canadian Institute of Mining and Metallurgy Special. 2002. V. 54. P. 389–429.
36. Chatterjee Nilanjan, Bhattacharji Somdev. Petrology, geochemistry and tectonic settings of the mafic dikes and sills associated with the evolution of the Proterozoic Cuddapah Basin of South India // Proc. Indian Acad. Sci. Earth and Planet. Sci. 2001. P. 433–453.
37. Evans-Lamswood D.M., Butt D.P., Jackson R.S. et al. Physical controls associated with the distribution of sulphides in the Voisey's Bay Ni-Cu-Co deposit, Labrador // Econ. Geol. 2000. V. 95. P. 749–770.
38. Farrow C.E.G., Lightfoot P.S. Sudbury PGE revisited: Toward an integrated model // The Geology, Geochemistry, Mineralogy and Mineral Beneficiation of Platinum-Group Elements / ed. L.J. Cabri. Ottawa, Ontario, Canadian Institute of Mining and Metallurgy Special, V. 54. 2002. P. 273–297.
39. Lasser B., Bridgwater D., Bernstein S., Rosing M. Assimilation and high-pressure fractional crystallization (AFC) recorded by Paleo-proterozoic mafic dykes, Southeast Greenland // Lithos International J. Mineralogy, Petrology and Geochemistry. 2004. № 1-2. P. 1–18.
40. Li C., Naldrett A.J. Geology and petrology of the Voisey's Bay intrusion: reaction of olivine with sulphide and silicate liquids // Lithos, 1999. V. 47. P. 1–31.
41. Li C., Naldrett A.J. Melting reactions of gneissic inclusions with enclosing magma at Voisey's Bay: Implications with respect to ore genesis // Econ. Geol. 2000. V. 95. P. 801–814.
42. Lightfoot P.C., Keays R.R., Doherty W. Chemical evolution and origin of nickel sulfide mineralization in the Sudbury igneous complex, Ontario, Canada // Econ. Geol. 2001. V. 96. P. 1855–1875.
43. Wilson A.H., Prendergast M.D. The Great Dyke of Zimbabwe – I: Tectonic setting, stratigraphy, petrology, structure, emplacement and crystallisation // Magmatic Sulphides – The Zimbabwe Volume / eds. M.D. Prendergast and M.J. Jones. Institution Mining and Metallurgy, London, 1989. P. 1–20.
44. Wilson A.H., Prendergast M.H. Platinum-group element mineralization in the Great Dyke, Zimbabwe, and its relationship to magma evolution and magmatic structure // South African J. Geol. 2001. V. 104. P. 319–342.

Рецензент К.К. Золотов

The ore-bearing dykes of the sulfide platinoid-copper-nickel ore-magmatic system

N. M. Chernyshov, M. N. Chernyshova, L. V. Goncharova

Voronezh State University

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 ore-magmatic system (OMS) (Bushveld, S. Africa; Great Dyke, Zimbabwe; Voisey's Bay, Sudbury, Canada; Mount Keith, Fisher et al., Western Australia; Jinchuan, China; Norilsk, Kola, Voronezh groups, Russia) was carried out. Three groups of the dykes, differ in structural-petrologic properties and in the general evolution of the sulfide platinoid-copper-nickel ore formation were singled out: a) OMS feeder channel (conductors) with the formation of independent petro-ore systems and deposits; b) offsets of intrusive OMS equivalents in enclosing rocks; c) intra-intrusive vein splittings of intercumulose melt and derivatives of new repeatedly incoming “fresh” portions of magma with the formation of independently crystallizing petro-ore systems. These groups in the aggregate determine a high metallogenic potential of OMS.

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