DOI: 10.24411/0869-7175-2019-10010

УДК 553.48'43+553.491.8
© Е.С.Заскинд, О.М.Конкина, 2019

Типизация сульфидных медно-никелевых и платинометалльных месторождений для целей прогноза и поисков

Е.С.ЗАСКИНД, О.М.КОНКИНА (Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центральный научно-исследовательский геологоразведочный институт цветных и благородных металлов» (ФГБУ «ЦНИГРИ»); 117545, г. Москва, Варшавское шоссе, д. 159, корп. 1)

Выделено четыре типа металлогенических зон, продуктивных на никелевое и платинометалльное оруденение: окраин архейских кратонов (медно-никелевые и платинометалльные месторождения); мезозойской трапповой активизации перикратонного чехла древней платформы (платиноидно-медно-никелевые); орогенных структур подвижных поясов и позднеархейских гранит-зеленокаменных областей (медно-никелевые месторождения). Приведена сравнительная характеристика рудных районов и месторождений стабильных и орогенных областей. Выделены основные прогнозно-поисковые критерии на медно-никелевое и платинометалльное оруденение.
Ключевые слова: медно-никелевые и платинометалльные месторождения, типы металлогенических зон и рудных районов, архейский кратон, ороген, поисковые признаки, оценка перспектив и масштабов оруденения.

Заскинд Евсей Сохорович zaskind@mail.ru

Конкина Ольга Михайловна okonkina@tsnigri.ru
кандидат геолого-минералогических наук

Sulfide Cu-Ni and PGM deposit typification for forecasting and prospecting

E.S.ZASKIND, O.M.KONKINA (Central Research Institute of Geological Prospecting for Base and Precious Metals)

Four types of metallogenic zones productive for nickel and PGM mineralization were identified. They are Archean craton margins (Cu-Ni and PGM deposits); Mesozoic trappean activation of the old platform pericratonic cover (PGM-Cu-Ni); orogenic structures of mobile belts and Late Archean granite-greenstone areas (Cu-Ni deposits). A comparative characterization was performed for ore districts and deposits of stable and orogenic areas. Major forecasting-prospecting criteria for Cu-Ni and PGM mineralization were identified.
Key words: Cu-Ni and PGM deposits, types of metallogenic zones and ore districts, Archean craton, orogen, prospecting indicators, evaluation of prospects and mineralization scales.

Представленная в статье типизация месторождений проведена на основе анализа и последующего синтеза данных материалов информационных ресурсов ФГБУ «ЦНИГРИ» и ряда публикаций [1–38].

Сульфидные медно-никелевые и платинометалльные месторождения пространственно и генетически связаны с группой формаций мафит-ультрамафитового ряда, проявленных в металлогенических зонах (МЗ), которые по обстановкам проявления никеленосного магматизма объединяются в четыре группы: окраин архейских кратонов (медно-никелевые и платинометалльные месторождения); мезозойской трапповой активизации перикратонного чехла древней платформы (платиноидно-медно-никелевые); орогенных структур подвижных поясов и позднеархейских гранит-зеленокаменных областей (медно-никелевые месторождения) (см. рисунки 1–2 и табл. 1).

Продуктивные на никель магматиты представлены рядом формаций, картируемые породы которых характеризуются широким спектром петрографических разностей – от габброидов до дунитов. Ареалы развития продуктивных образований в определённой геолого-структурной обстановке выделяются в качестве рудных районов (РР), примеры которых приведены в табл. 1 (третья графа), в скобках указаны наиболее представительные месторождения и рудопроявления данного рудного района. РР всех выделенных групп имеют в плане как изометричные, так линейные формы (рис. 3). Они сопоставимы по размеру площадей, но сильно разнятся по масштабам общих запасов (рис. 4), количеству

1. Типизация медно-никелевых и платинометалльных месторождений

Металлогенические зоны	Рудоносные магматические формации и их группы	Примеры рудных районов (месторождений, рудопроявлений)
1. Месторождения металлогенических зон окраин архейских кратонов		
Рифейские и раннепротерозойские базальтоидные вулканогенные прогибы, вулкано-тектонические депрессии, сопряжённые структуры обрамления и фундамента	Гарцбургит-дунитовая	Томпсон (Томпсон, Пайп)
	Габбро-верлит-дунитовая	Кейп-Смит (Катиник)
	Габбро-клинопироксенит-верлитовая	Печенгский (Ждановское, Спутник и др.)
	Гарцбургитовая	Печенгский (Аллареченское, Восток)
	Габбронорит-вебстерит-лерцолитовая	Печенгский (рудопроявление Карик), Кьюиноу Бей (Игл)
	Габбро-норит-гарцбургитовая	Мончегорский (Пласт 330, НКТ, Сопчуайвенч)
	Троктолит-габбровая	Дулутский (Кавишиви, Партридж Ривер)
	Группа формаций расслоенных плутонов габбро-норит-перидотитового состава	*Федорово-Панский (Федорова Тундра, Северный Каменник, Киевей), Мончегорский (Вуручуайвенч), Портимо-Койлисмаа (Контиярви, Ахмаваара, Каукуа, Хаукиахо)*
Раннепротерозойские протоплатформенные вулканогенно-осадочные прогибы	Диорит-норит-габброноритовая	Садбери (Страткона, Крейтон, Фруд Стоби)
	Группа формаций расслоенных плутонов габбро-норит-перидотитового состава	*Бушвельдский (MR, UG-2, PR)*
Позднеархейской и ранне-протерозойской (раннекарельской) активизации фундамента	*Группа формаций расслоенных плутонов габбро-норит-перидотитового состава*	*Стиллуотерский (JM), Великая Дайка (Хартли, Мимоза, Нгези, Унки)*
Раннепротерозойской (позднекарельской) и рифейской активизации краевого шва кратона	Лерцолит-дунитовая	Джинчуань
	Габбро-троктолитовая	Войсес-Бэй
	Вебстерит-лерцолитовая	Джанинский (Кун-Манье)
	Габбро-перидотит-дунитовая	Кингашский (Кингашское, Верхнекингашское)
2. Месторождения металлогенических зон мезозойской трапповой активизации перикратонного чехла древней платформы		
Вулкано-тектонические депрессии, валы (линейные платформенные структуры)	Пикрит-габбро-долеритовая	Норильский (Октябрьское, Талнахское, Норильск-1, Масловское, Черногорское и др.)
3. Месторождения металлогенических зон орогенных геоструктур подвижных поясов		
Эпигеосинклинальные вулкано-плутонические и плутонические пояса складчатых областей (ранний протерозой, поздний рифей–венд, поздний палеозой)	Диорит-норитовая	Фуюнский (Калатонк), Еланский (Еланское, Ёлкинское), Линн-Лейк
	Шрисгеймит-габбро-долеритовая	Худолазовский (рудопроявления Карасазовское, Бускунские, Туркменевское)
	Диорит-габбровая	Бугровский (рудопроявления Ближнее, Дальнее)
	Кортландит-норитовая	Северо-Камчатский (Шануч); Южно-Камчатский (рудопроявления Дукукского комплекса)
	Диорит-габброноритовая	Санта-Олалья (Агуабланка)
Гранулитовых поясов (ранний протерозой)	Норитовая	Лоттинский (Ловно)
4. Месторождения металлогенических зон позднеархейских гранит-зеленокаменных областей		
Зеленокаменные пояса западноавстралийского типа (аналоги постархейских окраиннократонных геоструктур)	Перидотитовых коматиитов	Камбалда
	Верлит-оливинит-дунитовая	Маунт-Кейт, Персеверанс
Зеленокаменные пояса канадского типа (аналоги постархейских подвижных поясов предорогенной (островодужной) стадии развития)	Перидотитовых коматиитов	Алексо, Марбридж, Шангани, Каменноозерский (рудопрояления Золотопорожское, Лещевское)
	Габбро-верлит-оливинит-дунитовая	Дьюмонт, Вожмоозерский (рудопроявления Вожминское, Лебяжинское, Светлоозерское)

Примечание. Курсивом выделены формации, продуктивные на МПГ.

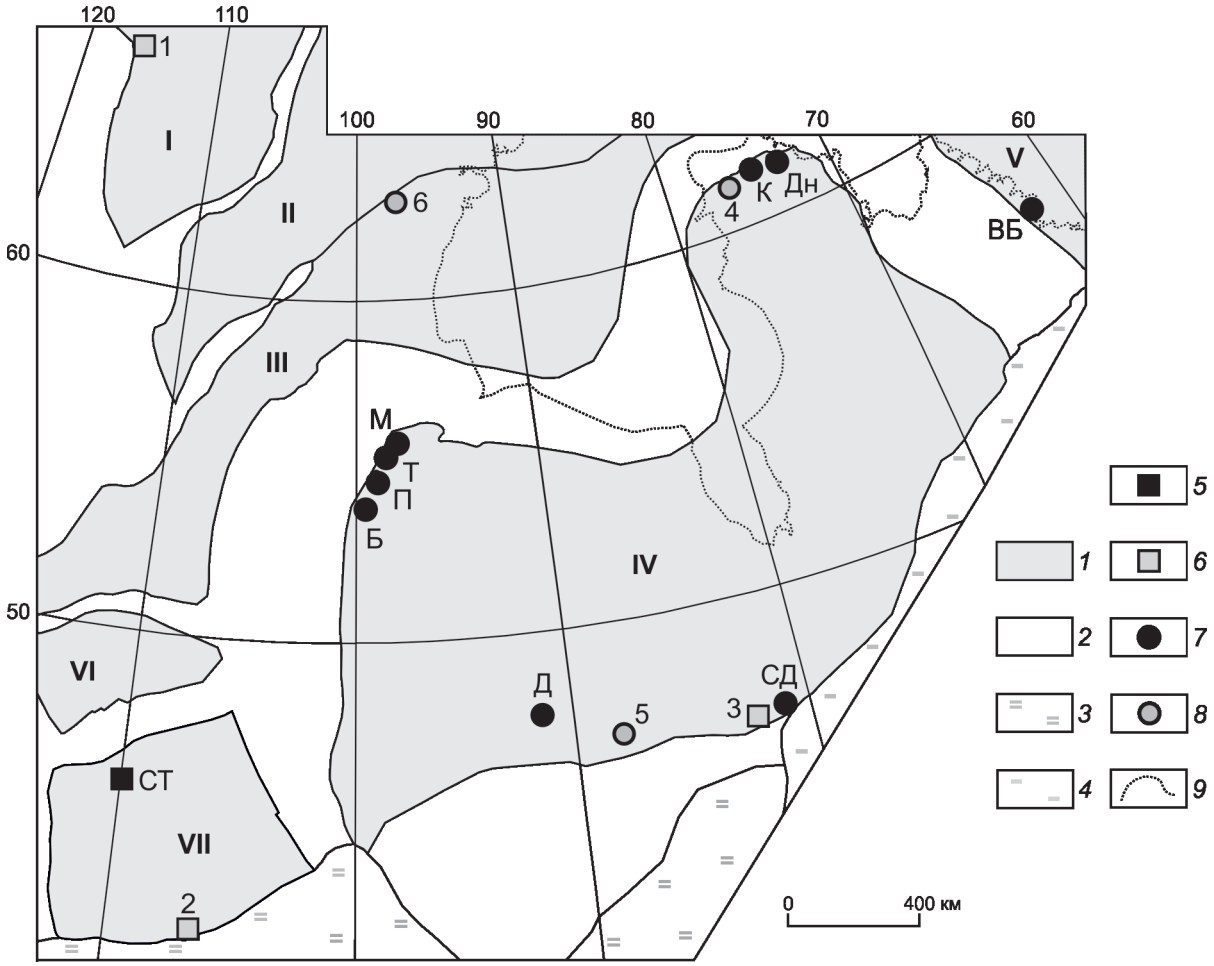


Рис. 1. Схема размещения сульфидных медно-никелевых и платинометалльных месторождений в краевых частях архейских кратонов Северо-Американской платформы. *Тектоническое районирование по* [16]**:**

1 – архейские кратоны: I – Слейв, II – Рэй, III – Хэн, IV – Сьюпириор, V – Нейн, VI – Медисин–Нэт, VII – Вайоминг; *2–4* – орогенные пояса (возраст, млрд. лет): *2* – 20–1,8, *3* – 1,8–1,6 и *4* – 1,3–1,0; *5–6* – платинометалльные: *5* – месторождения: Ст – Стиллуотер и *6* – рудопроявления: 1 – Маскот, 2 – Рамблер, 3 – Ист Булл Лейк; *7–8* – медно-никелевые: *7* – месторождения: К – Катиник, Дн – Дональдсон, ВБ – Войсейс-Бэй, М – Мистери, Т – Томпсон, П – Пайп, Б – Бако, Боуден, Сд – Садбери, Д – Дулут и *8* – рудопроявления: 4 – Кросс Лейк, 5 – Игл Лейк, 6 – Фергюсон Лейк; *9* – береговая линия

и крупности входящих в них месторождений. Сами же месторождения различаются морфологией, размерами и условиями залегания рудных тел. В орогенной обстановке общие запасы РР обычно не превышают первые сотни тысяч тонн, часто сосредоточены в единичных месторождениях и сопровождаются рядом непромышленных рудопроявлений. Морфология рудных тел, как правило, не подчиняется эндоструктуре материнского массива – характерны секущие трубообразные и жильные рудные тела неправильной формы.

Продуктивность рудных районов стабильных (эпикратонных) областей (см. табл. 1, группы 1 и 2) определяется суммарными запасами никеля от одного миллиона до десятков миллионов тонн. РР обычно объединяют несколько месторождений, среди которых присутствуют крупные, весьма крупные и уникальные по запасам. Для месторождений характерно преимущественно согласное с вмещающими породами залегание протяжённых рудных тел пласто- и линзообразной форм; секущие тела (трубообразные и жильные) встречаются редко. Рудные тела расположены как в самих рудоносных массивах, так и во вмещающих породах лежачего бока.

В позднеархейских гранит-зеленокаменных областях никеленосный ультраосновной эффузивный (перидотитовые коматииты) и интрузивный магматизм пространственно и генетически тесно связан с базальтоидным. По составу базальтоидов, особенностям геологического строения структур и их продуктивности

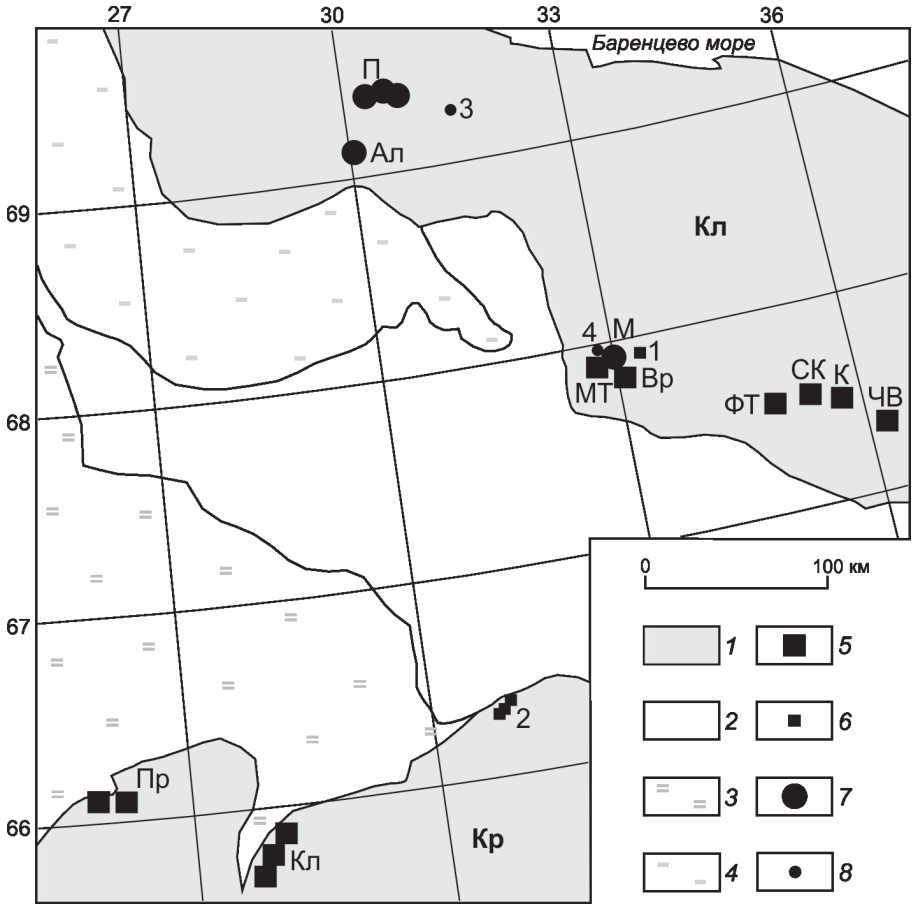


Рис. 2. Схема размещения сульфидных медно-никелевых и платинометалльных месторождений в краевых частях архейских кратонов Балтийского щита:

1 – архейские кратоны: Кл – Кольский, Кр – Карельский; *2–4* – постархейские подвижные пояса: *2* – Беломорский (архей–ранний протерозой), *3* – Центрально-Лапландский (ранний протерозой), *4* – Лапландский гранулитовый пояс (ранний протерозой); *5–6* – платинометалльные: *5* – месторождения: МТ – Мончетундровское, Вр – Вуручуайвеч, ФТ – Федорова Тундра, СК – Северный Каменник, К – Киевей, ЧВ – Чуарвы Восточное, ПР – месторождения района Портимо (Финляндия), Кл – месторождения района Койлисмаа (Финляндия) и *6* – рудопроявления: 1 – Поаз, 2 – Луккулайсваарского рудного поля (Восточное, Надежда, № 2, № 15); *7–8* – медно-никелевые: *7* – месторождения: П – Печенгского рудного поля (Ждановкое, Тундровое, Быстринское, Заполярное, Спутник и др.), Ал – Аллареченское, М – Мончегорского рудного поля (Пласт-330, Сопчуйвенч, Нюдайвенч) и *8* – рудопроявления: 3 – Карикъявр, 4 – НКТ

выделяется два типа МЗ и РР – западноавстралийский и канадский [4, 7, 25]. В зеленокаменных поясах западноавстралийского типа продуктивный ультраосновной магматизм связан с базальтами океанического типа и продуцирует крупные (миллионы тонн никеля) месторождения (структуры блока Йилгран). Повсеместно устанавливается присутствие более древнего ранне-среднеархейского фундамента. Очевидно, что зеленокаменные пояса западноавстралийского типа могут рассматриваться как аналоги постархейских окраинно-кратонных геоструктур. Структуры зеленокаменных поясов канадского типа характеризуются смешанным разрезом, в низах которого находятся океанические базальты, а верхи сложены островодужными базальтами толеитовой, известково-щелочной и шошонитовой серий. Для металлогении этих поясов, характерны колчеданные медно-цинковые месторождения, часто крупные. Продуктивность на никель невысокая. Известно множество рудопроявлений и мелких месторождений, запасы которых обычно не превышают нескольких десятков тысяч тонн никеля. На территории России к этому типу относятся рудопроявления и мелкие непромышленные медно-никелевые и колчеданные медно-цинковые месторождения Восточно-Карельской МЗ (см. табл. 1).

Платинометалльные месторождения расположены в МЗ окраин архейских кратонов, часто совместно с медно-никелевыми месторождениями (см. рисунки 1, 2

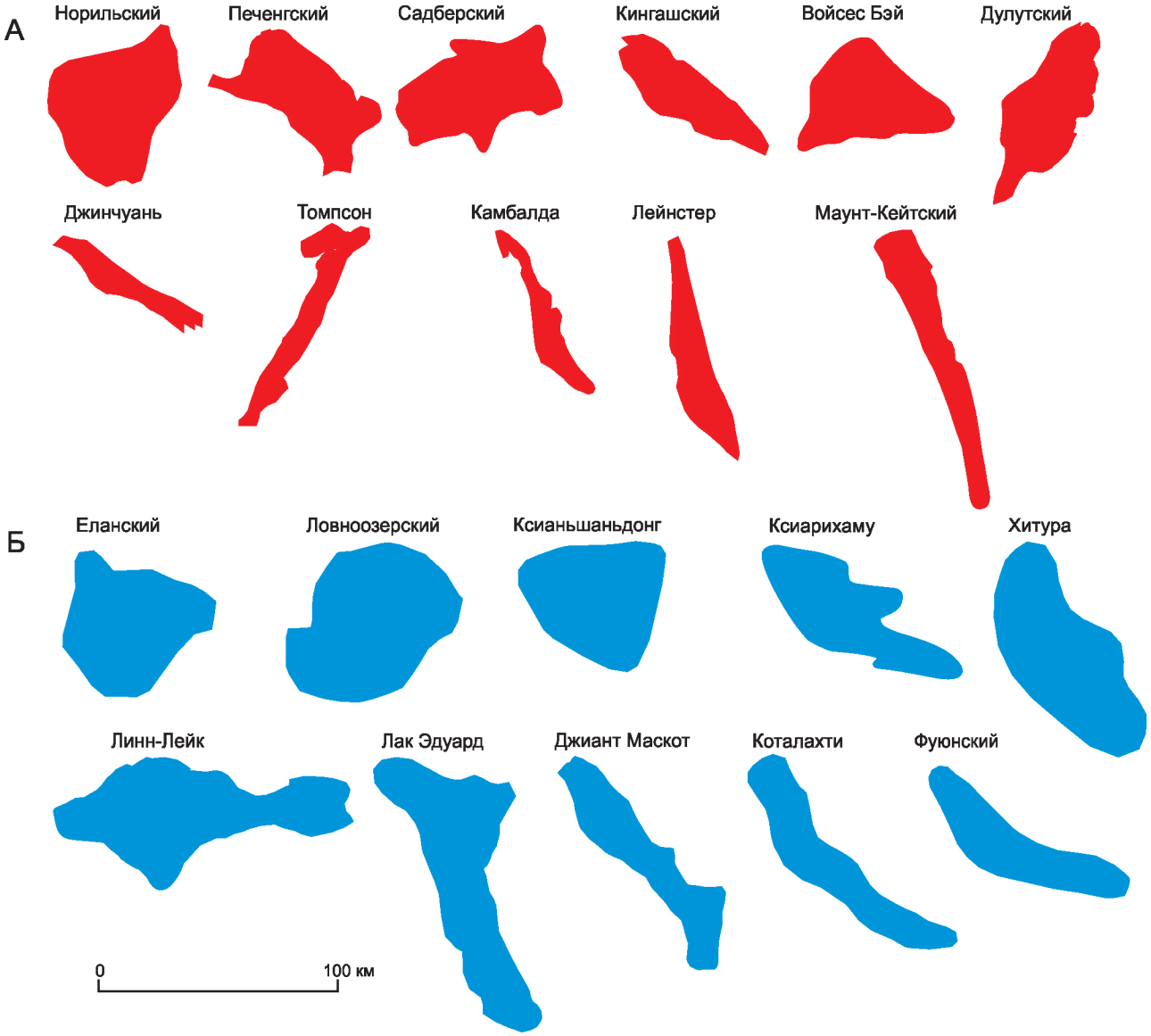


Рис. 3. Площади никеленосных рудных районов стабильных (А) и подвижных (Б) областей

и табл. 1), но по времени образования предшествуют им. Например, в Имандра-Варзугской металлогенической зоне расположены медно-никелевые месторождения Печенгского и платинометалльные месторождения Федорово-Панского рудных районов, а в Мончегорском РР этой же зоны совмещены и медно-никелевые месторождения (НКТ, Пласт-330, Сопчайвенч, Нюдайвенч), и платинометалльные месторождения (Вуручуайвенч, Мончетундровское); в Гуронской МЗ Канадского щита – медно-никелевые месторождения РР Садбери и платиноносный комплекс Ист Булл Лейк.

Собственные платинометалльные месторождения пространственно и генетически связаны с особой группой никеленосных мафит-ультрамафитовых массивов – расслоенными плутонами, строение главных дифференциатов которых осложнено перемежаемостью и повторяемостью, часто ритмической, различных по составу и структуре пород. Это отличает их от никеленосных дифференцированных массивов, спектр дифференциатов которых, по существу, эквивалентен одному ритму расслоенных интрузивов. Классические примеры расслоенных массивов – Бушвельдский комплекс (ЮАР), Великая Дайка (Зимбабве) и Стиллуотер (США). В России к этому типу относятся Федорово-Панский, Мончегорский и Мончетундровский массивы.

Продуктивные на металлы платиновой группы (МПГ) расслоенные массивы представлены достаточно широким спектром петрографического состава пород

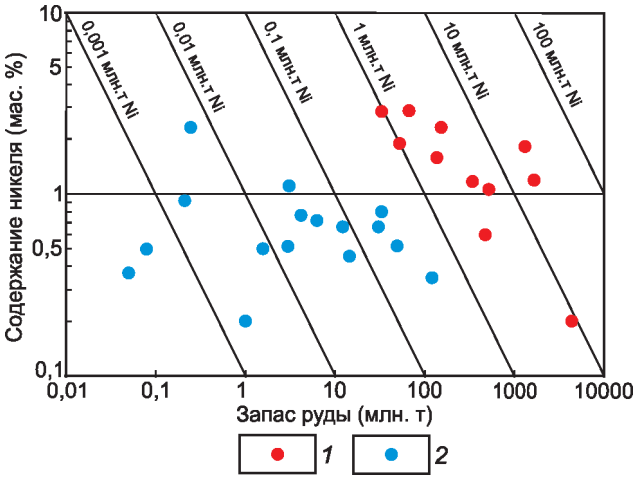


Рис. 4. Запасы и содержания никеля рудных районов стабильных и подвижных областей:

рудные районы: *1* – стабильных и *2* – подвижных областей

и характеризуются чётко проявленной норитовой тенденцией – более ранней кристаллизацией ромбического пироксена по сравнению с моноклинным, а также широким распространением пегматоидов и плагиоклазсодержащих разностей ультрамафитов [8]. Обязательным условием продуктивности на МПГ является наличие сульфидной медно-никелевой минерализации, при этом платинометалльное оруденение ассоциирует с сульфидной вкрапленностью специфического состава, характеризующейся более высоким отношением суммы содержаний меди и никеля относительно серы (рис. 5) [9]. В минеральном составе руд это выражается преобладанием суммы пентландита и халькопирита над пирротином или вообще беспирротиновым пентландит-халькопиритовым составом руд. В базальной или нижней зонах расслоенных массивов часто присутствуют комплементарные к платинометалльным существенно пирротиновые руды (или минерализация) с низкими содержаниями никеля, меди и МПГ (например, месторождение Моуэт в базальной зоне Стиллуотера, трубки Влакфонтейна нижней зоны Бушвельда, рудопроявлние Ластъявр в Федорово-Панском интрузиве).

Платинометалльные месторождения подразделяются на два типа: рифовые и контактовые (рис. 6). В рифовом типе продуктивные части разреза – рудные поля (РП) – представлены нижней норит-габброноритовой частью габброидной серии (пачки переслаивания норитов, габброноритов, анортозитов, троктолитов, плагиоклазовых ультрамафитов) или верхней пироксенитовой (с участием двух пироксенов) частью разреза ультрамафитовой серии. Рудные тела – пласт относительно выдержанной мощности или прерывистые пластообразные тела с локальными раздувами. По особенностям морфологии рудных тел, их локализации (положению в разрезе массива), петрографическому контролю, составу и уровням содержаний МПГ среди рифового типа месторождений выделяются подтипы – бушвельдский, стиллуотерский и хартли (см. рис. 6).

Месторождения *бушвельдского подтипа* локализуются в переходной от ультрамафитов к габброидам части разреза массива, представленной чередованием габброидов (нориты, габбронориты) и пачек переслаивания хромититов, ультрамафитов (плагиоклазовые ортопироксениты и гарцбургиты), габброидов (нориты, лейконориты) и анортозитов. Переходы между слоями разного петрографического состава как постепенные, так и резкие. Месторождения и рудопроявления МПГ приурочены к пачкам переслаивания, в которых размещение рудных тел контролируется пластами (рифами) сульфидсодержащих плагиоклазовых ультрамафитов (месторождения рифа Меренского) или сульфидсодержащих хромититов (месторождения слоя УГ-2 и рудопроявления в хромититах групп УГ и МГ). Руды характеризуются равномерным распределением концентраций МПГ при преобладании платины над палладием. Запасы МПГ месторождений этого типа уникальны по величине и качеству, а рудные тела – по протяжённости и выдержанности содержаний платиноидов.

Месторождения и рудопроявления *стиллуотерского подтипа* расположены в зоне переслаивания ультрамафитов, габброидов и анортозитов нижней части габброидного дифференциата массивов. Отсутствие хромититовых слоёв – главное отличие от продуктивной части разреза бушвельдского типа. Размещение рудных тел контролируется пачкой расслоенных пород, получивших название «рифовой пачки» (в отличие от месторождений бушвельдского типа, где «риф» – конкретная рудовмещающая порода). Рифовые пачки представлены невыдержанными по простиранию и мощности слоями плагиоперидотитов, норитов, габброноритов, троктолитов и анортозитов, сменяющих друг друга по латерали. Породы пачек неоднородны по структуре, характерны обособления крупнозернистых и пегматоидных разностей. Платиноносная сульфидная минерализация прослеживается внутри таких пачек в виде пластов мощностью до 10 м. Внутри пластов петрографический контроль размещения платиноносной сульфидной вкрапленности отсутствует. Характерно неравномерное распределение содержаний МПГ с обособлением участков высоких концентраций (до 70 г/т). Руды существенно палладиевые (Pd/Pt обычно >3,5, в некоторых рудопроявлениях до 10). Ресурсы и разведанные запасы существенно уступают бушвельдскому типу.

Месторождения *подтипа хартли* (Великая Дайка) приурочены к зоне сульфидсодержащих плагиоклазовых пироксенитов (ортопироксениты, вебстериты), венчающей разрез ритмично расслоенной ультрамафитовой серии массива. Мощность сульфидоносных пород изменяется от 1 до 15 м (Главная сульфидная

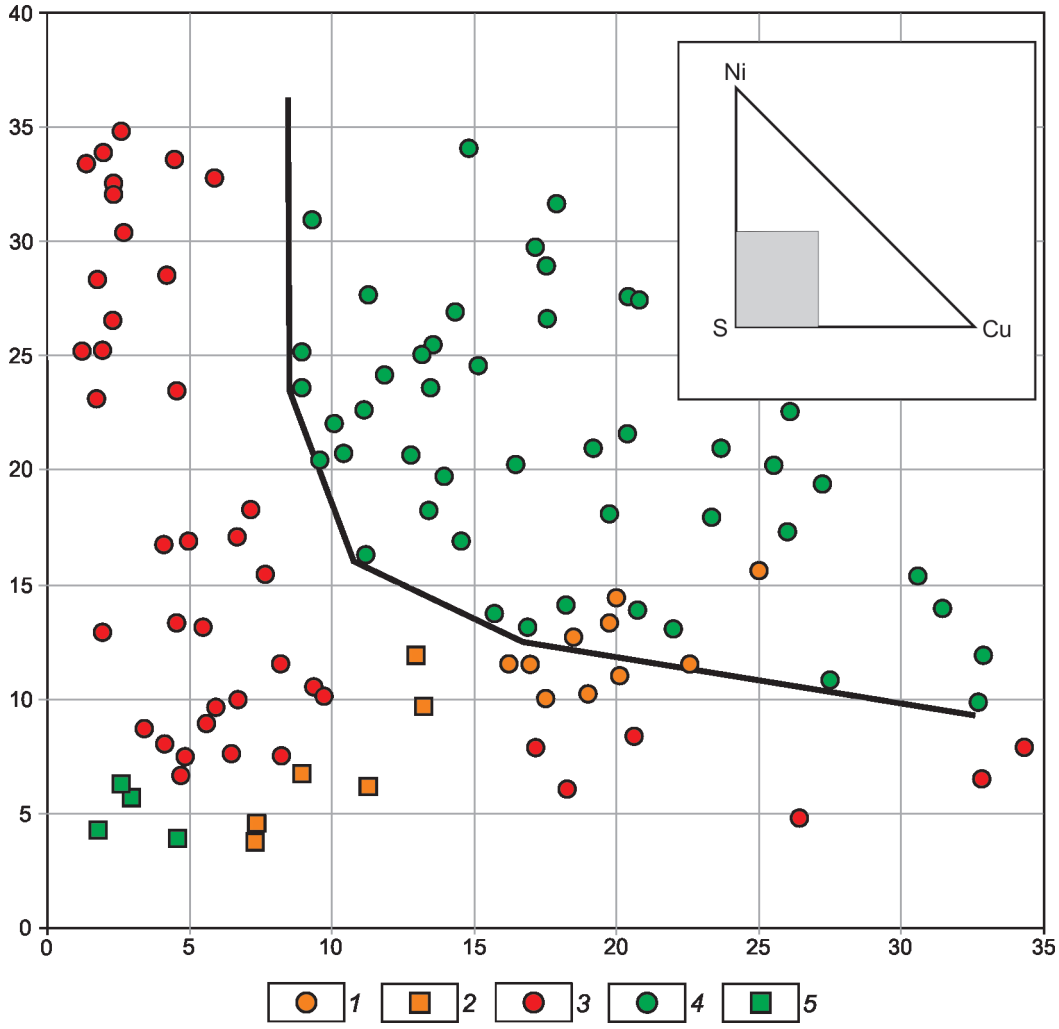


Рис. 5. Состав сульфидного оруденения медно-никелевых и платинометалльных месторождений:

Норильский район: *1* – месторождения, *2* – сульфидная минерализация Нижнеталнахского интрузива; *3* – медно-никелевые месторождения Мира; *4* – платинометалльные месторождения; *5* – руды месторождения Моуэт базальной зоны Стиллуотерского интрузива

зона). Рудное тело представляет собой пласт внутри сульфидоносной зоны, не имеет геологических границ и оконтуривается только по содержанию МПГ. Средняя мощность рудного пласта около 2 м, содержания МПГ изменяются от 2 до 6 г/т. По соотношениям платины и палладия руды близки бушвельдскому типу, а по величине содержаний МПГ беднее месторождений первых двух подтипов.

В контактовом типе РП представлены зоной такситовых (гетеролитных) пород (плагиоклазовые ультрамафиты, габброиды, ксенолиты вмещающих пород) нижней части разреза. Для месторождений этого типа характерны крупнообъёмные залежи с неравномерным распределением концентраций МПГ, невысокие средние содержания МПГ, но повышенные концентрации никеля и меди по сравнению с рифовым типом. Выделяется два подтипа месторождений: *платриф* и *лакдез-иль*.

Месторождения *подтипа платриф* по своим характеристикам приближаются к медно-никелевым. Они локализуются в сульфидоносных породах краевой или базальной частей массивов, в которых содержания цветных металлов на отдельных участках достигают значений, кондиционных для вкрапленных руд медно-никелевых месторождений. Концентрации МПГ в пределах зоны сульфидоносных пород распределены неравномерно. Выделяемые по бортовому содержанию платиноносные рудные тела представлены в виде линз

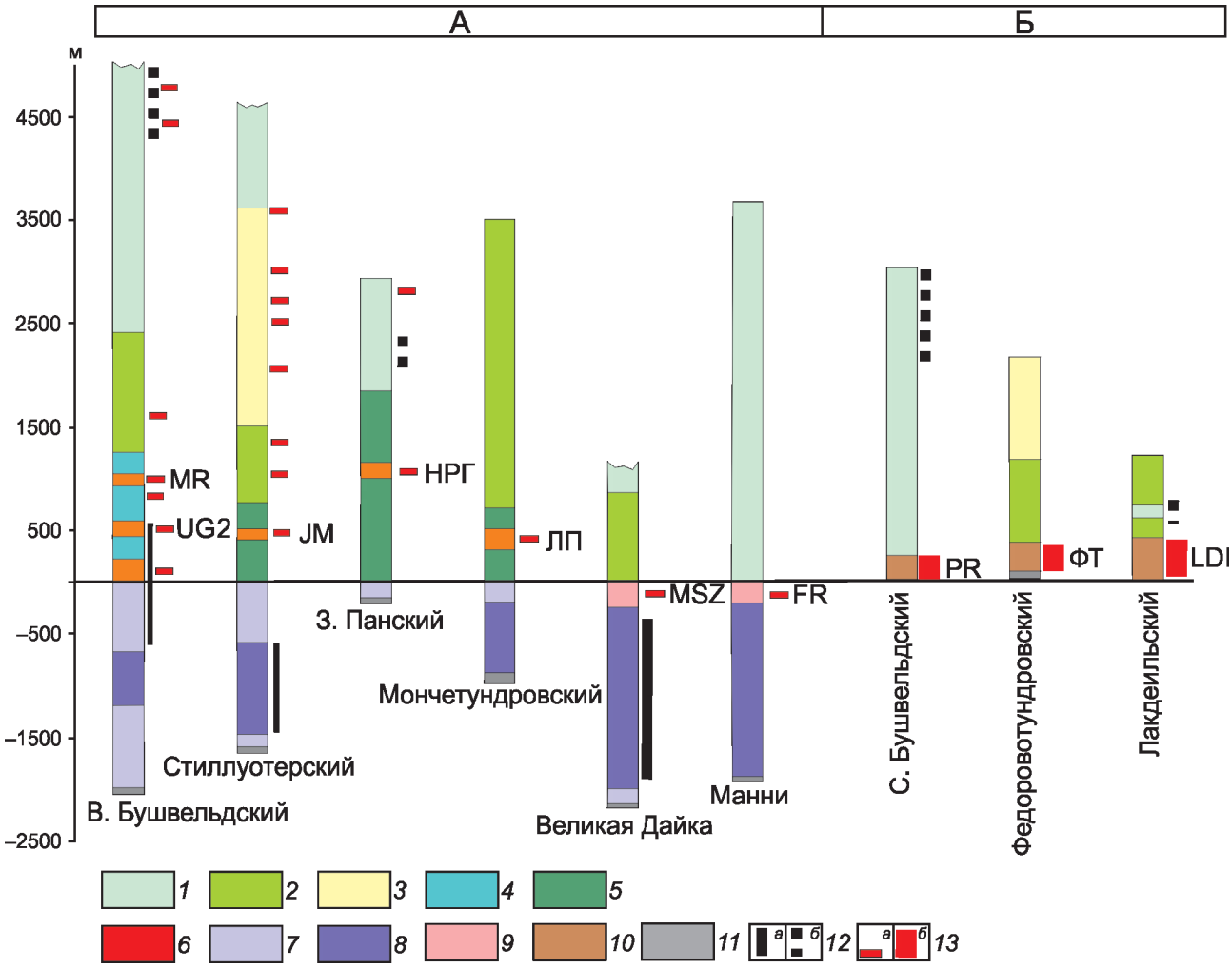


Рис. 6. Разрезы платиноносных расслоенных интрузивов с месторождениями «рифового» (А) и контактового (Б) типов:

1–6 – габброидная серия: *1* – пижонитовые и магнетитовые габбронориты и габбро, *2* – габбронориты, *3* – анортозиты, габбро, *4* – нориты, *5* – габбронориты, нориты, *6* – пачки переслаивания норитов, габброноритов, анортозитов, троктолитов, плагиоклазовых ультрамафитов; *7* – ортопироксениты; *8* – переслаивание дунитов, перидотитов, пироксенитов, хромититов; *9* – вебстериты, ортопироксениты; *10* – зона такситовых (гетеролитных) пород; *11* – породы эндоконтактовой зоны; *12* – зоны: *а* – хромититов, *б* – магнетититов; *13* – рифы (*а*), зоны (*б*) сульфидной медно-никелевой минерализации

и прерывистых пластообразных залежей различной протяжённости и переменной (5 до 200 м) мощности. Иногда руды выходят за пределы массива в породы экзоконтакта. По концентрациям МПГ в сульфидной массе руды подтипа платриф аналогичны комплексным платинометалльно-медно-никелевым рудам норильского типа.

Месторождения *подтипа лак-дез-иль* связаны с зонами хаотического (атакситового) распределения различных литологических и текстурно-структурных типов пород в габброидной части расслоенных массивов. Атакситовые зоны согласны с внутренней структурой массива. Состав пород варьирует от анортозитов до пироксенитов и перидотитов. Широко распространены магматические брекчии. Структура пород от тонко-равномернозернистой (микронориты, микрогаббронориты, микропироксениты) до пегматоидной. Характерной особенностью является высокая степень вторичных изменений – отталькование, амфиболизация, хлоритизация. Литологический контроль размещения рудных тел отсутствует. Распределение МПГ крайне неравномерное. Руды с высокими концентрациями (до десятков г/т) образуют линзы, столбы, гнёзда, шлиры различной протяжённости и мощности в более обширной зоне низких содержаний (от десятых долей до 1–1,5 г/т). Руды существенно палладиевые.

2. Признаковые модели месторождений МПГ в расслоенных массивах

Элементы модели	«Рифовый» тип			Контактовый тип	
	бушвельдский	стиллуотерский	хартли	лак-дез-иль	платриф
Рудоносная часть разреза	Сульфидоносная часть зоны чередования слоёв анортозитов, габброидов, ультрамафитов и хромититов	Сульфидоносная часть зоны чередования линзовидных слоёв и линз анортозитов, габброидов, плагиоклазовых ультрамафитов	Сульфидоносные пироксениты в верхах ультрамафитовой серии	Сульфидоносные породы такситовой зоны	Сульфидоносные ультрамафиты и габброиды в краевой и базальной частях интрузива
Рудовмещающие породы	Плагиоклазовые ортопироксениты, плагиоклазовые гарцбургиты, хромититы	Анортозиты, нориты, габбронориты, лейкогаббroиды, плагиоклазовые гарцбургиты и пироксениты	Плагиоклазовые ортопироксениты и вебстериты	Такситовые лейкогаббroиды, анортозиты, меланократовые габбронориты, клинопироксениты, перидотиты, микрозернистые породы, пегматоиды	Такситовые нориты, габбронориты и плагиоклазовые пироксениты
Морфология рудных тел	Пласт выдержанной мощности	Прерывистые пластообразные тела с локальными раздувами, уплощённые линзы	Пласт с незначительными вариациями мощности	Линзовидные и столбообразные тела, шлиры, гнёзда	Линзовидные и линзовидно-пластовые тела
Состав сульфидной минерализации	Халькопирит+пентландит>пирротин; халькопирит+пентландит				
Отражение в геофизических полях	Электроразведочные (ВП) аномалии; электромагнитные радиоволновые аномалии (РВЗ, РВП)				
Геохимические	Локальные аномалии Cu, Ni; повышенные (>0,1 г/т) содержания МПГ в пределах локальных аномалий Cu, Ni; струйные ореолы рассеяния; локальные аномалии по придонной морене				

В табл. 2 представлены признаковые модели месторождений МПГ в расслоенных массивах, обобщающие их основные характерные черты.

На территории России перспективами в поисковом отношении обладают стиллуотерский и платриф типы месторождений.

Руды медно-никелевых месторождений Норильского района, в том числе и забалансовых, имеют близкие составы с платинометалльными, и ни по содержаниям, ни по запасам не уступают некоторым собственно платинометалльным месторождениям (см. рисунки 5, 7). По заключению ПАО «ГМК «Норильский никель» МПГ в месторождении Норильск 1 составляют около 70% общей стоимости. Учитывая отмеченные особенности, месторождения Иконско-Хараелахской МЗ могут быть выделены в особый норильский тип платиноидно-медно-никелевых месторождений, в отличие от прочих медно-никелевых месторождений с попутными МПГ, содержания в которых составляют первые десятые доли г/т. Как и для платиноносных расслоенных массивов, для рудно-магматической системы Норильского района характерно присутствие существенно пирротиновой медно-никелевой минерализации, обеднённой цветными металлами и МПГ, в интрузиях нижненорильского типа (см. рис. 5).

При прогнозировании месторождений никеля и МПГ важными критериями продуктивности территории являются: тектоническая позиция, состав магматизма, его возраст, состав сопутствующего оруденения.

Возраст рудоносного магматизма и тектоническая позиция имеют особое значение для оценки перспектив платиноносности, так как нигде в мире не известны месторождения моложе раннего протерозоя и расположенные в обстановках подвижных поясов, в том числе и раннепротерозойских. Благоприятными факторами перспектив МЗ являются присутствие сопутствующего медно-никелевого оруденения и рудопроявлений существенно пирротинового состава.

При поисках месторождений никеля следует учитывать форму рудных тел месторождений стабильных и подвижных областей, а для платинометалльных – отмеченный выше специфический состав платиноносной медно-никелевой минерализации.

На территории России находятся 29 медно-никелевых месторождений (рис. 8). Из них 17 расположены в зонах окраин архейских кратонов и локализованы в

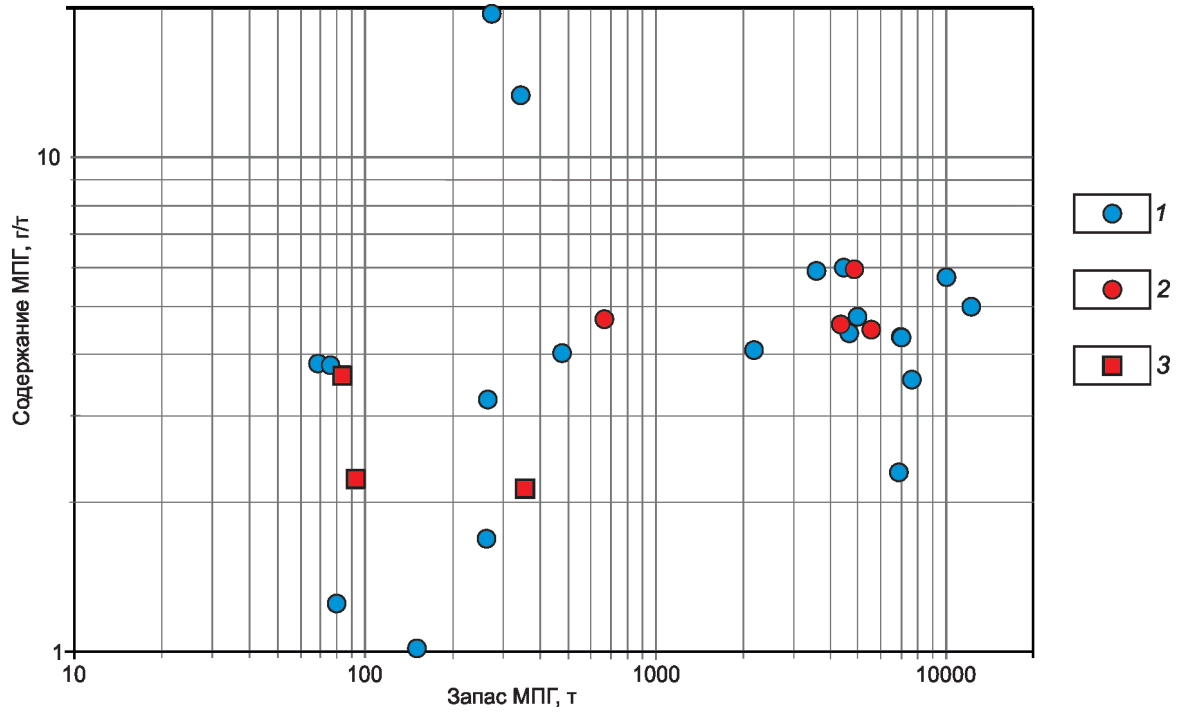


Рис. 7. Запасы и содержания МПГ в платинометалльных и медно-никелевых месторождениях:

1 – месторождения МПГ; *2–3* – медно-никелевые месторождения Норильского района: *2* – балансовые, *3* – забалансовые

3 рудных районах: 14 – в Печенгском, 2 – в Кингашском и 1 – в Джанинском; 8 месторождений норильского типа расположены в Иконско-Хараелахской зоне мезозойской трапповой активизации перикратонного чехла Сибирской платформы. Большинство месторождений характеризуются как крупные, весьма крупные и уникальные и составляют основу минерально-сырьевой базы никеля России.

Перспективы выявления новых месторождений этой группы связаны с объектами с апробированными прогнозными ресурсами (ПР) категорий P_1 и P_2, подготовленными для лицензирования и частично лицензированными. В Имандра-Варзугской металлогенической зоне это Карикъяврское рудное поле Печенгского рудного района, РП НКТ и Нюд-Морошковое Мончегорского рудного района; в Бирюсинской металлогенической зоне – Токты-Ойско-Желосское рудное поле Барбитай-Ийского рудного района. Перспективы выявления новых рудных районов связаны с апробированными прогнозными ресурсами категории P_3 площадей Канской и Бирюсинской металлогенических зон юга Красноярского края и Иркутской области. При благоприятном результате поисковых работ с учётом двух разведанных месторождений (Кингашского и Верхнекингашского с запасами Ni около 2 млн. т) здесь может быть создана новая минерально-сырьевая база никеля.

В зонах орогенных структур подвижных поясов пока выявлено четыре месторождения: Еланское и Ёлкинское в Еланском рудном районе Эртильской металлогенической зоны Воронежской области (Ni около 700 тыс. т); Ловнозерское Лапландской МЗ (Ni 85 тыс. т) и Шануч (Ni 57 тыс. т) на севере Срединно-Камчатской МЗ, на юге которой прогнозируются месторождения в связи с магматитами Дукукского комплекса (прогнозируемые рудные поля с прогнозными ресурсами категории P_2 Ni 645 тыс. т). Кроме того, перспективы выявления новых месторождений этой группы связаны с Бобровско-Мамоновской металлогенической зоной Воронежской области (прогнозные ресурсы категории P_2 206 тыс. т) и Бугровской площадью Северо-Тиманской МЗ (категории P_3 600 тыс. т).

Перспективы выявления медно-никелевых месторождений на территории Бугровской площади (прогнозируемый РР) связаны с неопротерозойским габброидным магматизмом внешней зоны коллизионного Тимано-Полярноуральского орогена. Выявлен комплекс поисковых признаков, характерных для никеленосных районов: развитие на площади интрузий габброидов позднерифейского комплекса, их контроль глубинными и оперяющими разломами; наличие совмещенных магнитных и гравиметрических аномалий, интерпретируемых как потенциально никеленосные массивы основного–ультраосновного состава.

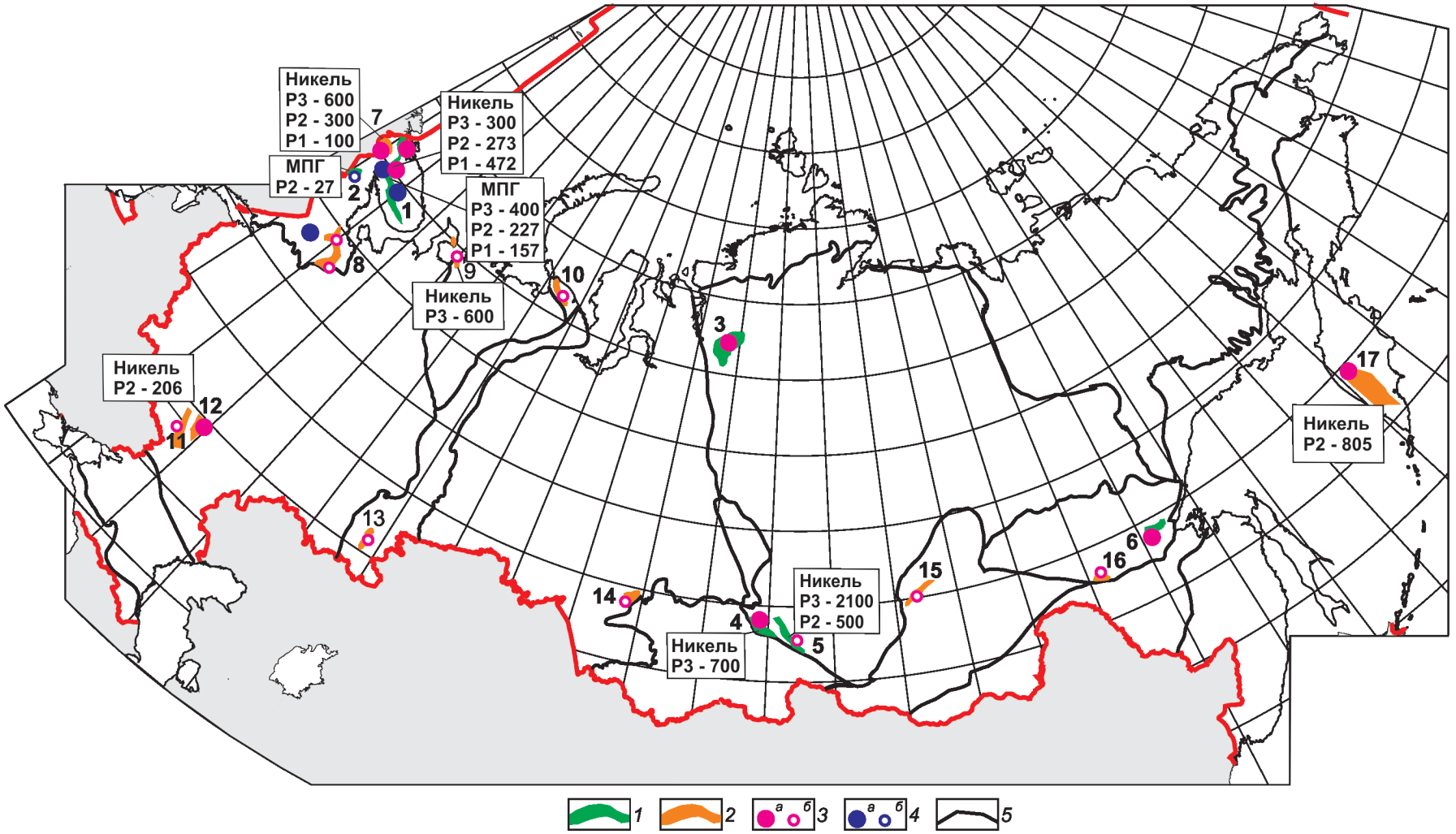


Рис. 8. Карта-схема размещения металлогенических зон, медно-никелевых и платинометалльных месторождений и рудопроявлений на территории Российской Федерации:

1–2 – металлогенические зоны: *1* – эпикратонных и *2* – орогенных обстановок; *3* – медно-никелевые месторождения (*а*) и рудопроявления (*б*); *4* – месторождения (*а*) и рудопроявления (*б*) МПГ; *5* – границы металлогенических провинций; номера металлогенических зон: 1 – Имандра-Варзугская, 2 – Северо-Карельская, 3 – Иконско-Хараелахская, 4 – Канская, 5 – Бирюсинская, 6 – Джанинская, 7 – Лапландская, 8 – Сумозерско-Кенозерская, 9 – Северо-Тиманская, 10 – Пай-Хойская, 11 – Бобровско-Мамоновская, 12 – Эртельская, 13 – Худолазовская, 14 – Новосибирская, 15 – Северо-Прибайкальская, 16 – Дамбукинская, 17 – Срединно-Камчатская

Прямым признаком никеленосности служат рудоносные дайковые и штокообразные тела с характерными для медно-никелевых месторождений морфологическими типами руд: вкрапленными, гнездово-вкрапленными и шлировыми с содержаниями Ni от 0,19 до 7,7%, Cu 0,07–0,7%, МПГ 0,15–0,9 г/т до 6 г/т в массивных рудах (рудопроявления Дальнее и Ближнее). На основе полученных геологических и геофизических данных авторами статьи предложена геолого-геофизическая модель (по аналогии с месторождением Войсес-Бэй [11, 24]), позволяющая рассматривать рудоносные дайки габброидов в качестве магматических проводников, предполагать наличие невскрытых эрозией промежуточных магматических камер с локализацией в их приподошвенной части более значительных скоплений сульфидных медно-никелевых руд высокого качества. Предполагается, что подобная модель может быть применена и для магматической системы Срединно-Камчатской МЗ, продуцирующей месторождения Шануч и известные рудопроявления Южно-Камчатского рудного района. Кроме того, в последнее десятилетие в составе разветвлённой рудно-магматической системы Войсес-Бэй установлены минерализованные «пологие дайки», аналогами которых могут рассматриваться рудоносные интрузивные тела месторождения Кун-Манье.

Учитывая весьма благоприятное состояние минерально-сырьевой базы никеля России, прогнозируемые на Бугровской площади месторождения сложнопостроенной рудно-магматической системы, требующие значительного объёма финансирования при проведении ГРР, особенно в неблагоприятных климатических условиях и при отсутствии инфраструктуры, скорее всего, могут рассматриваться как резерв будущих поколений.

На современном уровне изученности территории Российской Федерации единственным регионом, обладающим необходимыми условиями образования собственных месторождений МПГ, является Карело-Кольский. При этом с учётом достаточной степени изученности его магматизма, все перспективы связаны с уже известными рудными районами (Федорово-Панским и Мончегорским) Имандра-Варзугской МЗ и прогнозируемым Олангским рудным районом Северо-Карельской МЗ (см. рис. 8). Кроме того, Государственным балансом учитывается около 530 т МПГ в трёх забалансовых месторождениях норильского типа с содержаниями от 2,2 до 3,5 г/т. Доразведка и переоценка этих месторождений как платинометалльных или комплексных платиноидно-медно-никелевых объектов (с учётом современной рыночной конъюнктуры платины и палладия) могут дать приросты запасов промышленных категорий по примеру Черногорского месторождения, также учитываемого ранее как забалансовое.

Для расширения минерально-сырьевой базы МПГ необходимо вовлечение новых территорий, обладающих необходимым комплексом геотектонических, формационных, петрологических и рудно-геохимических признаков их перспективности. Одной из них может оказаться Джанинский блок восточной части Алданского щита, расположенный на сопредельной территории Амурской области и Хабаровского края. Здесь подтверждена возрастная принадлежность крупного габброидного массива к одной из продуктивных эпох платинометалльного оруденения (2,45 млрд. лет) и выявлены признаки, характерные для платиноносных металлогенических зон – благоприятная геотектоническая обстановка, сопутствующие типы оруденения: магматические сульфидные месторождения Утанахского ореола малых интрузивов кунманьеноского комплекса протерозойского возраста и сульфидные рудопроявления близкого возраста существенно пирротинового состава. Для реализации прогнозных построений необходимо проведение специализированных на МПГ прогнозно-металлогенических и научно-исследовательских работ, одной из обязательных составляющих которых должны являться петрологические и рудно-геохимические исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Годлевский М.Н.* Магматические месторождения // Генезис эндогенных месторождений. – М.: Недра, 1968. С. 7–83.
2. *Годлевский М.Н.* О характере связи сульфидного медно-никелевого оруденения с формациями базитов и гипербазитов // Магматизм и полезные ископаемые. – М.: Наука, 1975. С. 43–57.
3. *Геология* и перспективы сульфидного Pt-Cu-Ni оруденения восточной части Алтае-Саянской складчатой области // С.С.Сердюк, В.А.Кириленко, Г.Р.Ломаева и др. – Красноярск: Изд-во «Город», 2010.
4. *Заскинд Е.С., Иванюта З.Ф.* Некоторые особенности петрохимии базальтов никеленосных районов // Тр. ЦНИГРИ. 1981. Вып. 162. С. 8–13.
5. *Заскинд Е.С., Конкина О.М., Кочнев-Первухов В.И.* Критерии поисковой оценки расслоенных массивов гипербазит-габбро-норитового состава на МПГ-оруденение. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1994. С. 94–95.
6. *Заскинд Е.С., Кочнев-Первухов В.И.* Геотектонические закономерности размещения никеленосных регионов и оценка их продуктивности // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Норильского региона. – Апатиты, 1988. С. 4–8.
7. *Заскинд Е.С., Кочнев-Первухов В.И. Юдина В.В.* Некоторые особенности докембрийских никеленосных структур // Тр. ЦНИГРИ. 1979. Вып. 144. С. 18–28.
8. *Кочнев-Первухов В.И., Заскинд Е.С., Конкина О.М.* Оценка расслоенных мафит-ультрамафитовых массивов на металлы платиновой группы и критерии поисков платиноносных горизонтов // Платина России. Т. II. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1995. С. 131–135.
9. *Кочнев-Первухов В.И, Заскинд Е.С., Конкина О.М.* Рудноформационные основы прогноза платиноносности и составления металлогенических карт масштаба 1:5 000 000

и 1:2 500 000 // Платина России. Т. III. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. С. 39–43.
10. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006.
11. *Налдретт А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. – СПб., 2003.
12. *A Geological* Model for the Thompson Ni-Co Sulfide Ore Deposits, Manitoba, Canada // P.Lightfoot, R.Stewart, G.Gribbin, S.Kirby. http://www.lightfootgeoscience.ca/assets/presentations/MMC.pdf
13. *Benkó Z., Mogessie A., Molnár F.* Partial Melting Processes and Cu-Ni-PGE Mineralization in the Footwall of theSouth Kawishiwi Intrusion at the Spruce Road Deposit, Duluth Complex, Minnesota // Economic Geology. 2015. Vol. 110. P. 1269–1293.
14. *Geology*, lithogeochemistry and metallogeny of the Lynn Lake greenstone belt, northwestern Manitoba. https://www.manitoba.ca/iem/geo/mgstracker/images/region1/lynnlake_l.pdf
15. *Geological* map of the Fennoscandian shield. Scale 1:2 000 000. GTK, NGU, МПР РФ, SGU, 2001.
16. *Hoffman P.F.* Precambrian geology and tectonic history of North America / The Geology of North America–An Overview // Geological Society of America Bulletin. 1989. Vol. A. P. 447–512
17. *Magma* emplacement in transpression: The Santa OlallaIgneous Complex (Ossa-Morena Zone, SW Iberia) / I.Romeo, R.Capote, R.Tejero et al. // Journal of Structural Geology. 2006. Vol. 28. P. 1821–1834.
18. *Mineral* Deposits of Finland // Edited by Wolfgang D.Maier, Raimo Lahtinen Hugh O'Brien. 2015. Elsevier.
19. *Miller J.* Geology and Mineral Deposits of the Duluth Complex, Minnesota. https://slideplayer.com/slide/5695283/
20. *Norman K.*Geology and Cu-Ni-PGE Deposits of the Duluth Complex, NE Minnesota. https://slideplayer.com/slide/5695283/
21. *Ni-Cu-PGE* Deposits in the Pacific Nickel Comples, Southwestern B.C. / P.Metcalfe, M.McClaren, J.Gabites, J.Houle // A Profile for Magmatic Ni-Cu-PGE Mineralization in a Transpressional Magmatic Arc. Technical Report. November 2017. P. 65–80. https://www.researchgate.net/publication/321015869
22. *Origin* and emplacement of the Aguablanca magmatic Ni-Cu-(PGE) sulfide deposit, SW Iberia: A multidisciplinaryapproach // R.Piña, I.Romeo, L.Ortega et al. // GSA Bulletin 2010. Vol. 122. №. 5/6. P. 915–925.
23. *Origin* of Permian gabbroic intrusions in the southern margin of the Altai Orogenic belt: A possible link to the Permian Tarim mantle plume? / C.L.Zhang, H.B.Zou, C.Y.Yao, Y.G.Dong // Lithos. 2014. Vol. 204. Pp. 112–124.
24. *Origin* of the Nickel Sulfide Deposits at Voisey's Bay, Labrador, Canada / P.C.Lightfoot, R.R.Keays, D.Evans-Lamswood, R.Wheeler // Advances in Ore Systems and Exploration Success: Conference Paper, 21–24 February, 2011.
25. *Peridotitic* komatiites and origin jf ores (Southeastern part of the Baltic shield) // V.I.Kochnev-Pervukhov, E.S.Zaskind et al. // Geology and Metallogeny of Copper Deposits. Springer-Verlag. Berlin Heidelberg. 1986. P. 171–178.
26. *Porter T.M.* Regional tectonics, geology, magma chamber processes and mineralization of the Jinchuan nickel-copper-PGE deposit, Gansu Province, China: A review T.M. (Mike). Geoscience Frontiers. 2015. https://www.researchgate.net/publication/283984095_Regional_tectonics_geology_magma_chamber_processes_and_mineralisation_of_the_Jinchuan_nickel-copper-PGE_deposit_Gansu_Province_China_A_review.
27. *Precambrian* Geology of Finland // Edited by Martti Lehtinen, Pekka A. Nurmi, Tapani Ramo. – Elsevier, 2005.
28. *Ripley E. M., Li C.* Metallic ore deposits associated with mafic to ultramafic igneous rocks // Processes and Ore Deposits of Ultramafic–Mafic Magmas through Space and Time. – Elsevier. 2017. P. 79–109.
29. *Ryan B.* Preliminary geological map of the nain plutonic suite and surrounding rocks (Nain-Nutak, NTS 14 S.W.). Newfoundland Department of Mines and Energy. Geol/Surv. Branch. Map 90–41, scale 1:500 000. 1990.
30. *Sappin A., Constantin M., Clark T.* Origin of magmatic sulfides in a Proterozoic island arc – an example from the Portneuf–Mauricie Domain, Grenville Province, Canada // Miner Deposita. 2011. Vol. 46. P. 211–237.
31. *Sappin A., Constantin M., Clark T.* Petrology of mafic and ultramafic intrusions from the Portneuf–Mauricie Domain, Grenville Province, Canada: Implications for plutonic complexes in a Proterozoic island arc // Lithos. 2012. Vol. 154. P. 277–295.
32. *Structural* evolution of the Agnew–Wiluna greenstone belt, Eastern Yilgarn Craton and implications for komatiite-hosted Ni sulfide exploration / P.Duuring, W.Bleeker, S.W.Beresford et al. // Australian Journal of Earth Sciences. 2012. Vol. 59. P. 765–791.
33. *Sulfide* Saturation and Magma Emplacement in the Formation of the Permian Huangshandong Ni-Cu Sulfide Deposit, Xinjiang, Northwestern China / J.F.Gao, M.F.Zhou, P.C.Lightfoot et al. // Economic Geology. 2013. Vol. 108. P. 1833–1848.
34. *The Kalatongke* magmatic Ni-Cu deposits in the Central Asian Orogenic Belt, NW China: product of slab window magmatism? / C.Li, M.Zhang, P.Fu et al. // Mineralium Deposita. 2012. Vol. 47. P. 51–67.
35. *The Giant* Mascot Ni-Cu-PGE Deposit, British Columbia: Mineralized Conduits in a Convergent Margin Tectonic Setting / M.J.Manor, J.S.Scoates, G.T.Nixon, D.E.Ames // Economic Geology. 2016. Vol. 111. Pp. 57–87.
36. *The Giant* Xiarihamu Ni-Co Sulfide Deposit in the East Kunlun Orogenic Belt, Northern Tibet Plateau, China / X.Y.Song, J.N.Yi, L.M. Chen et al. // Economic Geology. 2016. Vol. 111. Pp. 29–55.
37. *The Geology* and Ore Deposits of the Sudbury Structure (OGS special volume; 1) / Edited by E.G.Pye, A.J.Naldrett, P.E.Giblin, Ministry of Natural Resources. – Ontario, 1984. P. 604.
38. *WA Geological* Maps, Widgiemooltha SH51-14, Scale: 1:250 000, 1988. http://scanned-maps.geoscience.gov.au/250dpi/sh5114.jpg