

ГЕОЛОГИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СССР

ГЕОЛОГИЯ  
МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
СССР

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
Ордена Ленина Кольский научный центр им. С. М. Кирова  
Геологический институт

# ГЕОЛОГИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СССР

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ



Ленинград  
„Наука”  
Ленинградское отделение  
1990

В книге освещены закономерности размещения, основные черты строения и генезиса сульфидных медно-никелевых месторождений, связанных с различными базит-гипербазитовыми формациями. Рассмотрены минералого-геохимические особенности руд и пути повышения комплексности их использования. Изложены принципы прогнозирования и технологии поисков медно-никелевых месторождений в основных никеленосных районах страны. Поставлены задачи изучения других никельсодержащих природных источников.

Книга рассчитана на широкий круг специалистов, занимающихся изучением, поисками и освоением никелевых руд.

#### Р е д к о л л е г и я:

Чл.-кор. АН СССР Г.И. Горбунов (ответственный редактор), д-р геол.-минер. наук Ф.П. Митрофанов, канд. геол.-минер. наук Ю.Н. Яковлев, канд. геол.-минер. наук Ю.В. Гончаров, д-р геол.-минер. наук В.В. Дистлер, д-р геол.-минер. наук Н.М. Чернышов

#### Р е ц е н з е н т ы:

В.Г. Гаскельберг, Н.Н. Веселовский, Н.Б. Филиппов

#### Р е д а к т о р и з д а т е л ь с т в а:

Т.П. Жукова

#### Н а у ч н о е и з д а н и е

ГЕОЛОГИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

#### У т в е р ж д е н о к п е ч а т и

Геологическим институтом Кольского научного центра им. С.М. Кирова

Редактор издательства Т.П. Жукова

Художник А.И. Слепушкин

Технический редактор М.Л. Гофман

Корректоры У.В. Емельянова и Л.Я. Комм

ИБ № 44212

Подписано к печати 03.12.90. Формат 60х90 1/16. Бумага офсетная №1. Печать офсетная. Усл. печ. л. 17.50. Усл.кр.-от. 17.50. Уч. изд. л. 20.51. Тираж 650. Тип. зак. № 933. Цена 3 р. 70 к. Заказное издание.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство „Наука“.

Ленинградское отделение.

199034, Ленинград, В-34, Менделеевская лин., 1.

Ордена Трудового Красного Знамени Первая типография

издательства „Наука“

199034, Ленинград, В-34, 9 лин., 12.

1804060100-717  
Г 042(02)-90 400-90, I полугодие

ISBN 5-02-024493-7

© Геологический институт  
Кольского научного  
центра им. С.М. Кирова  
АН СССР, 1990

## П Р Е Д И С Л О В И Е

В феврале 1987 г. в городе Апатиты в Кольском филиале им. С.М. Кирова Академии наук СССР состоялось Второе всесоюзное совещание по геологии медно-никелевых месторождений. Первое совещание проходило там же в апреле 1963 г. За истекшие 24 года организациями Мингео СССР и РСФСР выполнен большой объем геологоразведочных работ, разведаны новые месторождения сульфидных медно-никелевых руд в Норильском рудном районе и на Кольском полуострове, дана геологическая оценка Воронежской и Восточно-Карельской провинций, обнаружено медно-никелевое оруденение в других регионах. Это способствовало укреплению минерально-сырьевой базы непрерывно развивающейся никелевой промышленности страны.

В этот же период академическими и отраслевыми институтами осуществлены обширные региональные исследования никеленосных провинций, проведены комплексные геолого-структурные, минералого-петрологические, геофизические и геохимические исследования перспективных рудных полей и месторождений. Главнейшими результатами научно-исследовательских работ явилось дальнейшее развитие теории сульфидного медно-никелевого рудообразования, установление большой вертикальной протяженности и многоярусного размещения медно-никелевого оруденения, выявление связи рудообразования с процессами рифтогенеза древней континентальной земной коры, выделение на формационной основе никеленосных вулкано-интрузивных и интрузивных базит-гипербазитовых комплексов. Исследована количественная характеристика минеральной и геохимической зональности рудных тел, а также форм нахождения благородных металлов и закономерностей их распределения в рудах. На основе изучения минеральных парагенезисов и экспериментальных данных дана оценка параметров рудообразования. Все это способствовало детализации локальных структурно-петрологических и геохимических критериев прогноза месторождений.

Программа совещания охватывала широкий круг вопросов: от анализа региональной рудоносности, характеристики отдельных рудных полей и месторождений до исследования физико-химических параметров рудообразования. Всего было заслушано и обсуждено около 130 докладов и сообщений. Большая часть докладов затем была доработана авторами для опубликования в серии сборников.

В настоящем томе публикуются в основном общие доклады, сгруппированные по тематическому признаку.

В первом разделе помещены статьи, посвященные общим закономерностям размещения сульфидных медно-никелевых месторождений. В их основе лежат исследования в главнейших рудных регионах СССР, а также в некоторых зарубежных провинциях (Австралия, Канада, Скандинавия). Подробно рассматриваются геодинамические, структурно-тектонические обстановки формирования и размещения месторождений, тесная генетическая и пространственная связь их с формациями основных и ультраосновных пород и другие вопросы, составляющие в целом основу для регионального прогноза и поисков месторождений.

Второй раздел составляют статьи, касающиеся проблемы генезиса медно-никелевых месторождений. Интенсивное изучение месторождений, проводимое в нашей стране и за рубежом, наполнило новым содержанием ряд традиционных вопросов генезиса и выдвинуло новые. В их числе: источники сульфидного вещества, структурно-тектонические обстановки рудообразования, процессы магматической дифференциации и рудоотложения. Наряду с дальнейшей разработкой концепций магматической природы сульфидных медно-никелевых месторождений выдвинута гипотеза высокотемпературного метасоматического происхождения с участием процесса сульфуризации никеленосной магмы коровой серой в промежуточном очаге или в самом интрузиве.

К третьему разделу относятся статьи по геологии месторождений Норильского района, Кольского полуострова, Карелии, Воронежского кристаллического массива, а также статьи о перспективах поисков медно-никелевых руд на Украинском щите, в Северном Прибайкалье и на Дальнем Востоке. В них изложены новые данные по геологии никеленосных провинций, структурам рудных полей и месторождений, минеральному составу руд и зональности рудных тел; отражены результаты геолого-поисковых, в том числе геофизических и геохимических исследований; намечены геологические предпосылки для ведения дальнейших геологоразведочных работ. В специальной статье освещены состояние и задачи геолого-технологического изучения сульфидных медно-никелевых руд. В конце книги помещена статья, отражающая состояние и задачи регионального прогнозирования гипергенных руд никеля.

Развернувшаяся на совещании дискуссия показала, что, несмотря на значительное число докладов, в них далеко не полностью отражены достижения и результаты изучения геологии медно-никелевых месторождений страны. Поэтому данную книгу следует рассматривать как труд, подводящий общие итоги разработки проблемы и дающий рекомендации о том, в каком направлении следует вести дальнейшие исследования.

Г.И. Горбунов, В.В. Дистлер,  
Н.М. Чернышов

## ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Сульфидные медно-никелевые месторождения в земной коре имеют сравнительно небольшое распространение, что определяется исключительными условиями их образования. Они формируются только на тектонически активизированных платформах и только в связи с гипабиссальными, преимущественно полнодифференцированными массивами основных и ультраосновных пород.

Наиболее значительные месторождения размещены на древних докембрийских платформах и обусловлены тектоно-магматической активизацией их в архейско-протерозойских (Южно-Австралийский, Балтийский, Канадский и Южно-Африканский щиты), а также в герцинском и раннемезозойском (Сибирская платформа) орогенических этапах.

Медно-никелевые месторождения на территории СССР размещаются в четырех основных провинциях: 1) Кольский полуостров – месторождения Печенгского, Аллареченского, Мончегорского и Ловноозерского районов; 2) Норильский район – месторождения Норильск-1, Талнахское, Октябрьское и др.; 3) Воронежский кристаллический массив – Нижне-Мамонское, Подколдновское, Еланское и Елкинское месторождения; 4) Северное Прибайкалье – Йоко-Довыренское и Чайское месторождения.

Кроме того, сульфидное медно-никелевое оруденение известно в Ветреном Поясе Карелии и Архангельской области, на Северном Урале, Тимане, Украинском и Белорусском поднятиях кристаллического фундамента, в Прииртышской зоне смятия в Восточном Казахстане, в Таджикистане и на Камчатке.

Сравнительное изучение геологических условий нахождения и анализ геолого-структурных особенностей размещения медно-никелевых месторождений в различных провинциях показали их тесную генетическую и пространственную связь с разновозрастными никеленосными формациями основных и ультраосновных пород, проявляющихся в районах с определенным эндогенным и геодинамическим режимом и в разнотипных структурах земной коры (см. таблицу).

При этом формирование и размещение промышленных месторождений, совпадающих с этапами наиболее крупных перестроек континентальной земной коры на активизированных участках платформ, определяются структурно-тектоническими обстановками двух основных типов: 1) региональными глубинными разломами в жестких

Рудные районы	Региональные рудоносные структуры		Рудоносные магматические формации		Примеры месторождений	
	Геодинамический режим	Структурная обстановка	интрузивные	эффузивные		
Месторождения, связанные с вулкано-интрузивными комплексами	Внутриконтинентальные рифтовые зоны и приразломные прогибы	Докембрийские щиты	Габбро-пироксенит-верлитовая	Коматит-базальтовая, пикрит-базальтовая	Камбалда и др. - Западная Австралия; Шангани, Тразан и др. - Зимбабве; Лангмуир, Томпсон, Моак и др. - Канада; пояс Арола-Суомуссалми - Финляндия; рудопроявления Ветреного Пояса - Карелия	
		Протоплатформы				
Месторождения в ритмично расслоенных дифференцированных плутонах	Глубинные разломы протозон и тектоно-магматической активизации	Древние платформы			Печенгский район - СССР, Никелевый пояс Коталахти - Финляндия	
		Щиты и протоплатформы	Норит-ортопироксенит-гарибургитовая	Нет		Мончегорский район - СССР; Садбери - Канада; Стилуотер - США; Бушвельд - ЮАР; Еланское - ВКМ, СССР
		Консолидированные подвидные пояса	Норит-ортопироксенит-гарибургитовая			Мамонское и др. - ВКМ, СССР; Йоко-Довыренское, Чайское - Северное Прибайкалье; Макут - Восточный Казахстан
			Норит-кортландитовая		Шануч - Камчатка, СССР; месторождения КНДР, КНР	

консолидированных блоках земной коры; 2) зонами высокой динамической активности в пределах кратонов и древних платформ с тектоническим режимом, характерным для рифтовых зон. Каждая из этих обстановок характеризуется вполне определенными чертами развития магматизма, повторяющимися в разные металлогенические эпохи.

Первый тип структурных обстановок размещения медно-никелевых месторождений характеризуется развитием линейно-вытянутых региональных глубинных разломов с ограниченными масштабами латерального раскрытия в жестких блоках земной коры независимо от того, располагаются ли они в пределах щитов или консолидированных подвижных поясов. С ними ассоциируют тела расслоенных базит-ультрабазитовых интрузивов, для которых, как правило, отсутствует связь с вулканогенными образованиями. Наиболее характерными примерами таких интрузивов являются Мончегорский плутон, Федоровогундровский и Панский массивы на Кольском полуострове, основные интрузивы Воронежского кристаллического массива (ВКМ), Чайский и Йоко-Довыренский массивы Северного Прибайкалья, интрузивы Прииртышской зоны смятия и некоторые другие.

Никеленосные массивы представлены относительно крупными удлиненными телами с ритмичной расслоенностью, формирующимися в условиях гипабиссальной глубинности. Главные разновидности пород принадлежат к норит-ортопироксенит-гарибургитовой никеленосной формации с повышенным содержанием хрома и платиноидов. Ведущим типом оруденения является сингенетическая сульфидная вкрапленность, приуроченная к определенным горизонтам в придонной части массивов. Редким типом являются жильные тела сплошных сульфидов, приуроченные к прототектоническим трещинам внутри массива и тесно связанные с процессом формирования материнских пород, в частности с процессом образования пегматоидов.

Второй тип рудных районов приурочен к поясам и областям высокой динамической активности в пределах кратонов и древних платформ, связан с образованием систем континентальных рифтовых зон с чрезвычайно мощным развитием вулканизма, с которым ассоциированы рудоносные расслоенные базит-ультрабазитовые интрузивы. Наиболее яркими представителями таких рудных районов являются Печенгский и Норильский. При наличии своеобразия геологической истории каждого района и особенностей формирования структур отмечается общность главных черт развития магматизма.

В формировании сложных и длительно развивающихся комплексов никеленосных магматических пород в них выделяются три главные стадии: 1) неоднократное излияние лав и образование толщ вулканогенных, а также вулканогенно-осадочных платформенных пород; 2) внедрение межпластовых рудоносных интрузий; 3) внедрение даек основного состава.

Размещение рудоносных массивов здесь контролируется комбинацией двух тектонических элементов - крупных глубинных разломов, по которым поднималась подкоровая магма, и пологих синклиналей, в шарнирных частях которых формировались интрузивные

массивы. Стратифицированные никеленосные интрузивы в обоих рудных районах образуют лентовидные тела ограниченной мощности, вытянутые на расстояние до нескольких километров. Они залегают, как правило, согласно с вмещающими осадками и высокомагнезиальными вулканитами. При этом рудоносные интрузивы и вулканиты рассматриваются как единая никеленосная вулкано-интрузивная ассоциация. Главные разновидности пород представлены рядом габбро-верлит- или габбро-долерит-троктолит-пикрит, составляющие ту или иную никеленосную магматическую формацию.

Высокодифференцированный характер магматического процесса predetermined развитие, помимо вкрапленного оруденения в интрузивных породах, тел массивных сульфидов или богатых брекчиевидных руд, локализующихся главным образом за пределами интрузивов вдоль разрывных нарушений. Такие соотношения вкрапленных и сплошных сульфидных руд, по-видимому, обусловлены процессами глубинного отщепления богатой сульфидами жидкости и ее внедрения в виде самостоятельной интрузивной субфазы высокодифференцированного магматического расплава по тем же структурам, что и существенно силикатного расплава, однако уже с использованием локальных структурных элементов, определяющих формирование отдельных рудных залежей.

Принципиально важным аспектом формирования месторождений, связанных с вулкано-интрузивными магматическими системами, является возможность многоярусной локализации рудоносных интрузивов и богатых руд в пределах рудных полей, что мы и наблюдаем в Норильском и Печенгском районах и что открывает здесь дальнейшие перспективы поисков новых рудных тел.

Так, в Печенгском рудном поле протяженностью около 70 км и шириной на выходе на поверхность продуктивной толщи от 1 до 2 км, которая на многие километры продолжается по падению под диабазами четвертого покрова, к настоящему времени вскрыто более 170 межпластовых интрузивных тел. При этом 3/4 их общего количества сосредоточено в центральной части рудного поля, в области максимального прогиба печенгской структуры, где интрузивы размещаются внутри туфогенно-осадочной толщи несколькими ярусами вдоль межпластовых сдвигов и отслоений в шарнирах дополнительных поперечных синклиналиных складок.

Все известные в рудном поле месторождения сконцентрированы именно в центральном прогибе в виде трех взаимно связанных рудных узлов: 1) Западного - месторождений Каула, Промежуточное, Фланговое, Каммикиви, Семилетка, Западное Ортоайви, приуроченных к единой разветвленной тектонической зоне в верхах рудоносной толщи; 2) Восточного - месторождений Мирона, Спутник, Киерджибор, Сев. Онки, размещающихся главным образом в самых низах толщи; 3) Центрального, где месторождения размещаются двумя ярусами - один в низах толщи (месторождения Восточное Ортоайви, Северное Соукериоки), второй - в верхах толщи (месторождения Райсоайви, Верхнее, залежь Сверхглубокая, которая в свою очередь далее на востоке соединяется с месторождением Тундровым). Так, последо-

вательно раскрывается необычайно сложная структура Печенгского рудного поля в целом.

Безусловно, и в дальнейшем в Печенгском рудном поле можно рассчитывать на прирост запасов как на недоразведанных флангах известных месторождений, так и за счет выявления так называемых „отщепленных“ рудных тел наподобие уже отработанных Отдельного рудного тела в лежащем боку месторождения Каула, богатых жил в промежутке между Каулой и Каммикиви, а в последние годы - Северной залежи.

Но более серьезные перспективы прироста запасов, как нами неоднократно подчеркивалось, связаны с разведкой погребенной обширной площади рудного поля к югу от Ждановского месторождения и Сверхглубокой залежи, вплоть до Луотнинского и Порьиташского глубинных разломов, которые могли служить подводящими питающими каналами никеленосных расплавов из глубин мантии.

К сожалению, пока не удалось в должной мере оценить масштабы никеленосных трещинных интрузий участка Пахтаярви, залегающих в подстилающих диабазах третьего покрова, и, что самое главное, определить их роль в формировании Печенгского рудного поля в целом. И это предстоит дополнительно изучить.

Что же касается юго-восточной части вулканического пояса Печенга-Имандра-Варзуга, то, несмотря на неоднократное возобновление здесь поисково-разведочных работ, правда, весьма ограниченными средствами, ничего существенного пока выявить не удалось ни в нижней стрельнинской, ни в верхней варзугской осадочно-вулканогенных сериях, насыщенных массивами базит-гипербазитов, если не считать наличия прослоев основных и субщелочных вулканитов с сингенетической вкрапленностью самородной меди (умбинская свита). Изучение имандра-варзугской части пояса безусловно надо также продолжать более современными средствами.

В этом же районе, как известно, находятся два очень крупных дифференцированных массива габбро-норитов Федоровой и Панских тундр протяженностью 8,5 и 50 км соответственно. Они приурочены к глубинному шовного типа разлому, ограничивающему вулканический пояс с севера. В обоих массивах, относящихся к отмеченному выше первому типу рудных полей, наблюдается лишь бедное вкрапленное оруденение в их нижних частях. И хотя в них пока не удалось выявить промышленных скоплений медно-никелевых руд, исключать их из сферы поисковых работ не следует, так же как и все северное обрамление Печенгско-Варзугского пояса, что подтверждается наличием уже разведанных рудопроявлений Ластьявр, Приозерное (между Мончегорским и Оленегорским) и Карикьяврской группы рудных тел к северо-востоку от Печенгского рудного поля.

Закономерности размещения месторождений в Норильском рудном районе будут детально освещены в ряде специальных сообщений. Следует подчеркнуть, что это типичный пример связи сравнительно молодых никеленосных рудно-магматических ассоциаций с процессами внутриконтинентального рифтогенеза. В результате комплексных

региональных исследований большого коллектива ученых и геолого-разведчиков связь процессов рудообразования с рифтогенезом приобретает все большую определенность. Внутриконтинентальная Енисей-Хатангская рифтовая зона и трансформные к ней вулканотектонические структуры определили размещение всех рудных полей в пределах как самой северо-западной части Сибирской платформы, так и рудопроявлений Западного Таймыра, выдвигающегося в число одного из перспективных районов для поисков медно-никелевых месторождений.

Высокодинамический характер формирования структур, сопряженных с рифтогенезом, обусловил основные черты развития магматизма и строения рудных узлов Норильского района. К ним относятся: постоянное сонахождение рудоносных интрузивов и их высокомагнетических вулканических аналогов в пределах локальных участков; сочетание нескольких типов разновозрастных интрузивов различной рудоносности, включая присутствие тел сплошных сульфидов, представляющих собой субфазу рудоносного магматизма; многоярусное размещение рудоносных интрузивов. Из сказанного вытекают два практических следствия.

1. Связь формирования рудоносных магматических комплексов с региональной рифтовой системой предопределяет возможность более высокой концентрации оруденения в участках, приближенных к стволу рифта. Имеющиеся данные действительно свидетельствуют о том, что к югу от Норильского района в направлении к Иманджинскому рудному узлу в интрузивах существенно убывает концентрация сульфидов, одновременно меняется петрогенетический облик (состав). Сульфидная минерализация приобретает фоновый характер и распределяется неравномерно. Поэтому, видимо, не случайно здесь наблюдается множество магматических комплексов с фоновой концентрацией сульфидов и отсутствие петрогенетически индивидуализированных интрузивов с высокой концентрацией оруденения норильского типа.

2. Возможность многоярусного размещения материнских интрузивов в вертикальных сечениях рудных узлов предопределяет актуальность проведения глубинных поисков богатых руд. С этой точки зрения крайне перспективными являются глубинные поиски непосредственно в Талнахском рудном поле.

Наконец, в число рудных районов, связанных с вулканотектоническими ассоциациями, по-видимому, следует включать зеленокаменные пояса архейских кратонов. Например, пояс Западной Австралии с известными месторождениями Камбалда, Уиджимулта и др., Шангани в Зимбабве, Томпсон в Канаде, Суомуссалми-Арола в Финляндии и, возможно, Ветренный Пояс в Карелии.

В пределах ВКМ несомненный интерес представляют следующие потенциальные рудные районы.

В пределах Еланского рудного района к перспективным на поиски медно-никелевых руд в норитах относится группа пространственно сопряженных или располагающихся вблизи Еланского плутона норитовые и норит-диоритовых тел (в том числе сульфидоносных),

вскрытых бурением или отчетливо фиксируемых по характеру геофизических аномалий (Покровско-Новотроицкая, Вилковско-Некрыловская, Листопадовская, Архангельско-Ертыльская площади).

К числу несомненно перспективных относится слабо изученный бурением крупный массив габброидов (с вероятным развитием норитов еланского типа) в Аннинском рудном районе (к южнее Садовского и Восточно-Садовского рудопроявлений в ультраосновных породах).

По геофизическим и структурно-геологическим предпосылкам и петролого-геохимическим данным возможно выявление сульфидных медно-никелевых руд в Ширяевско-Озерковском поясе, характеризующемся широким развитием крупных расслоенных плутонов (Ширяевский, Озерковский, Мысычевский, Ясеновский) и наличием ряда рудопроявлений (Ширяевское, Пионерское).

В Лосевско-Мамонском глубокоэродированном поясе наиболее перспективным является Мамонско-Подколдновский рудный район, в котором помимо известных месторождений (Нижнемамонское, Подколдновское) и около десятка рудопроявлений в ультраосновных породах, широко развиты габбро-норитовые массивы (Донской и др.), а также отмечаются тела норитов и ортопироксенитов еланского типа (Юбилейное, Мартовское рудопроявления).

В целом в Воронежской провинции намечается зональность в размещении никеленосных интрузивов в широтном направлении: от базит-гипербазитов на западе к базитам на востоке.

В теории сульфидно-никелевого рудообразования вопросы никеленосности ультраосновных лав формации коматитов пока разработаны недостаточно. Можно лишь констатировать, что принципиальное сходство рудномагматических процессов, связанных с вулканотектоническими ассоциациями архея, протерозоя и мезозоя, позволяет утверждать, что присутствие в составе зеленокаменных поясов коматитовых лав является далеко не достаточным признаком их рудоносности. Природа появления безрудных и рудоносных коматитов требует более глубокого анализа тектоно-магматических обстановок развития этого типа магматизма.

В последнее время намечается несколько направлений такого анализа, в частности выделения зеленокаменных систем с субмаринным (островодужным) и субконтинентальным характером магматизма. Возможно, это позволит выработать более надежные принципы расчленения зеленокаменных систем по степени их рудоносности, хотя совершенно очевидны и сложности разработки проблемы применительно к метаморфизованным зеленокаменным поясам архея возраста 3.5-2.6 млрд. лет.

Тем не менее вопросы поиска медно-никелевых месторождений, связанных с архейскими зеленокаменными поясами на территории СССР, являются достаточно актуальными.

ГЕОТЕКТОНИЧЕСКАЯ ПОЗИЦИЯ СУЛЬФИДНЫХ  
МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

За последние 15 лет произошли решительные изменения в геотектонике и в интерпретации тектонической позиции рудных месторождений. Широкую популярность получили идеи мобилизма в его различных вариантах, переработки ранее консолидированных структур под воздействием новых тектонических процессов, существования мощной континентальной земной коры на самых ранних этапах геологической истории. Одновременно возникли представления о связи никеленосных вулканоплутонических ассоциаций Норильска с базальтоидной активизацией древних платформ, о специфике никелевого рудообразования при подводных извержениях архейских коматиитов, о метеоритной природе Садбери, о принадлежности Печенга-Имандра-Варзугского пояса к особому типу шовных структур. Этот пересмотр не только затронул общие тектонические и металлогенические концепции, но и породил серию новых пока не решенных вопросов, которые рассматриваются здесь.

Западно-Австралийский щит. До начала 70-х годов Западная Австралия была известна в качестве крупной золотоносной провинции с многочисленными и большей частью отработанными гидротермальными месторождениями золота. Они залегают, как правило, в основных вулканитах архейского возраста, контролируются трещинными структурами и относятся к кварцево-сульфидному типу со значительным содержанием теллура. Кроме золота в архейском супракрystalном комплексе были найдены железистые кварциты и проявления сульфидной медно-никелевой минерализации. Последние считались типичными магматическими образованиями, связанными с интрузиями ультрабазитов. Ведущая роль в локализации тех и других отводилась крупным глубинным разломам кристаллического основания. Дальнейшие исследования обнаружили более сложные соотношения между оруденением и окружающими комплексами пород. Было установлено, что сульфидные медно-никелевые месторождения Западной Австралии принадлежат к ранее неизвестному вулканогенному типу и связаны с покровами коматиитов.

Широко известные их представители сосредоточены в районе Камбалда и располагаются на периферии куполовидной складки, осложненной разломами и прорванной риолитами. Никелевое оруденение заключено в пачке высокомагнезиальных ультраосновных пород мощностью 240-600 м, которая выше по разрезу сменяется базальтами (80-100 м), черными метасадочными породами с пиритом (1-10 м) и снова базальтами (свыше 200 м). Сульфидные руды залегают согласно с вмещающими породами в основании мощного горизонта коматиитовых перидотитов и отличаются резким преобладанием никеля над медью. В небольших количествах присутствуют кобальт, палладий, иридий, золото.

А. Гликсон высказал предположение о том, что коматииты и перемежающиеся с ними базальты являются фрагментами первичной океанической коры. Однако на сегодня доказано, что никеленосные коматииты занимают достаточно высокое положение в разрезе архейских вулканогенно-осадочных толщ, а сами эти толщи располагаются на сиалическом основании. Буровая скважина в ядре купола Камбалда пройдена на 2400 м по базальтам лежачего бока и не вышла из них. В. Компстон и др. [5] обнаружили в базальтах лежачего и висячего боков цирконы разного состава и возраста. С помощью ионного микроанализатора U-Pb методом возраст первых определен в 3.2-3.4 млрд. лет, вторых - в 2.6-2.7 млрд. лет. Отсюда был сделан вывод о том, что более молодые значения соответствуют времени извержения базальтов, а более древние - возрасту той сиалической коры, через которую базальтовая магма поднималась к поверхности. Этот вывод подтвердился, когда в северо-западной части Йилгарнского блока на поверхности обнаружены были гнейсы именно такого возраста - 3.2-3.4 млрд. лет.

Следует, однако, заметить, что стратиграфические схемы супракрystalльных поясов Западной Австралии до сих пор не созданы. Не ясны и первоначальные границы супракрystalльных поясов. Одни исследователи считают, что современные очертания поясов примерно совпадают с их контурами во время седиментации и вулканизма. Другие реконструируют единые более крупные прогибы, в которых накапливались субмаринные эффузивные и осадочные породы.

Не дали положительных результатов и поиски новых месторождений в связи с коматиитами. Зато была обнаружена серия других месторождений, которые ассоциируются с дайками дунитов и сосредоточены вдоль линеамента Маунт-Кейт-Персевиренс. В противоположность месторождениям предыдущего типа вмещающие толщи представлены не только лавами ультрамафитового состава, но также фельзитами, вулканокластическими породами и железистыми кварцитами. В геохимическом отношении, в частности по содержанию MgO, дуниты резко отличны от ультрамафитовых лав, вмещающих медно-никелевые руды. Во-первых, оно устойчиво и чрезвычайно высоко (>50%), во-вторых, подвержено существенным колебаниям. Нет в них и спинифексовых текстурных зон, характерных для коматиитов.

Существуют противоречивые представления о времени внедрения дунитовых тел и об их взаимоотношениях с коматиитами, несущими оруденение. По мнению некоторых исследователей, дуниты внедрялись по крутопадающим тектоническим зонам, после того как супракрystalльные пояса уже претерпели деформации. Другие авторы предполагают, что дуниты первично представляли собой силлоподобные питающие камеры для перекрывающих их коматиитовых вулканитов.

После XXV Международного геологического конгресса (Сидней, 1976 г.) во всем мире начался «коматиитовый бум». Закономерные вариации химического состава и текстур пород в разрезе коматиитовых лав были успешно использованы для выделения архейских зеленокаменных поясов и их возможных аналогов в Алдано-Становой

области, на Балтийском, Украинском и других щитах. Получены обширные материалы по петрологии и условиям образования коматитов. Но тектонические критерии их никеленосности пока не установлены. Поэтому остаются открытыми и вопросы о том, чем вызвано наличие в Западной Австралии сульфидных никелевых месторождений в ассоциации с коматитами: особым типом структур земной коры, их положением в геологической истории или неоднородностями верхней мантии, где зарождались рудоносные магматические очаги.

Канадский щит. Автор идеи метеоритного происхождения эруптива и никелевых руд Садбери Р. Дитц рассчитал, что астероид диаметром 4 км, летевший со скоростью 15 км/с, при соударении с землей мог образовать кратер глубиной до 3 км и диаметром в 50 км. Представление Р. Дитца о том, что Садбери возникло в результате плавления, ликвации и кристаллизации богатого медью и никелем метеорита, не получило поддержки, но идея о космическом возникновении его рудовмещающих структур не была оставлена. По мнению А. Налдретта [6], многие факты свидетельствуют о том, что эти структуры действительно возникли в результате мощного взрыва, а именно: 1) конусообразная их форма, 2) наличие кольца опрокинутых пород, 3) проявление ударного метаморфизма, 4) широкое развитие брекчий, 5) своеобразие перекрывающей формации Онапинг, которую некоторые исследователи рассматривают как совокупность обломочного материала, выброшенного при падении крупного метеорита.

Казалось бы, метеоритная гипотеза вообще снимает вопрос о геотектонической позиции Садбери, о его соотношениях с докембрийскими региональными структурами Канадского щита. Однако ситуация оказывается иной – и в вертикальном разрезе земной коры, и по латерали.

Совместный анализ геологических данных, гравитационных и магнитных полей указывает на то, что под стратифицированным комплексом Садбери располагается гораздо более крупное (60x40 км) тело основных пород с плотностью  $3.02 \pm 0.03$  т/м<sup>3</sup>, характерной для серпентинизированного габбро или габбро-анортозита. Его верхняя кромка находится на глубине 4–5 км, нижняя – в 5–8 км от дневной поверхности. Повышенные содержания SiO<sub>2</sub> и K<sub>2</sub>O, низкие содержания CaO и низкие отношения Na<sub>2</sub>O/K<sub>2</sub>O в краевых фациях комплекса Садбери по сравнению с континентальными базальтами свидетельствуют, по данным А. Налдретта, об интенсивной контаминации исходного мантийного расплава более древними кварцевыми монзонитами и тоналитами. Контаминация в свою очередь вызвала обособление больших объемов сульфидов. Последние вместе с ультраосновными и основными кумулятами слагают серию скрытых силлов и располагаются в виде нескольких ярусов на расстоянии до 25–30 км от ныне существующей дневной поверхности.

В зарубежной и отечественной литературе неоднократно подчеркивалась приуроченность никеленосного массива Садбери к краевой части архейского кратона Сьюпириор, перекрытой протоплатформен-

ными гуронскими отложениями. Последние почти не дислоцированы и лишь в узкой краевой зоне, совпадающей с крупным сбросом Маррей, изменены до верхов зеленосланцевой и амфиболитовой фаций. Архейский комплекс включает супракрустальные породы киватинского типа, алгоманские граниты и мелкие интрузивы основного состава. Гуронские отложения несогласно перекрывают архейские, имеют в основании древнюю кору выветривания и подразделяются (снизу вверх) на четыре группы: Эллиот–Лейк, Хой–Лейк, Куэрк–Лейк и Кобальт и несколько формаций. Верхняя граница гуронских отложений определяется по пересечению их дайками диабазов Ниписсинг, для которых Rb–Sr методом установлен возраст 2.0–2.1 млрд. лет. Согласно палеорекострукциям, гуронские отложения накапливались в сравнительно узком поясе вдоль южной границы „протоконтинента“ Сьюпириор, причем обломочный материал переносится в направлении с северо-запада на юго-восток. Область сноса была сильно расчлененной и тектонически активной, а седиментация происходила в сравнительно мелководном бассейне в условиях многократных трансгрессий и регрессий.

Материалы Р. Симса и др. [7] подтверждают и значительно расширяют эти выводы. Новые геохронологические и геологические данные свидетельствуют о том, что к югу от провинции Сьюпириор находится раннеархейский кратон. Если гранит-зеленокаменные серии южной части Канады имеют возраст 2750–2600 млн. лет, то в штатах Миннесота и Висконсин – 3500–3000 млн. лет. Кроме того, реконструкции первичного состава метаморфических пород провинции Онтарио показывают, что гуронские отложения распространяются за пределы Гренвилльского фронта, причем их фации закономерно меняются от субэзэральных мелководных к более глубоководным морским и указывают на конседиментационную природу разлома Маррей в нижнем протерозое.

В этой связи особое значение приобретает надежная возрастная датировка геологических событий в районе Садбери. С помощью Rb–Sr изохронного метода возраст вулканогенных пород формаций Гоуганда и Коппер–Клиф, которые входят в гуронскую группу, определен  $2290 \pm 90$  и  $2350 \pm 60$  млн. лет, а возраст метаморфизма гуронских отложений –  $1950 \pm 100$  млн. лет. Для норитов массива Садбери этим же методом получены значения  $1956 \pm 98$  млн. лет, для рудоносных субпластовых норитов –  $1957 \pm 156$  млн. лет и для микропегматитов –  $1625 \pm 30$  млн. лет. Таким образом, прогрессивный метаморфизм гуронских отложений, внедрение массива Садбери, формирование ассоциированных с ним никелевых месторождений тесно связаны не только в пространстве, но и во времени.

Напомним, что нориты Садбери имеют тот же возраст, что и расслоенная рудоносная серия первой фазы Бушвельдского комплекса. Поэтому импактные рудоносные структуры Садбери можно рассматривать лишь как частное следствие более общих космических процессов, обусловивших формирование гигантских месторождений 2.0–1.8 млрд. лет назад и в протерозойских подвижных поясах, и на протоплатформах, и в областях протоактивизации.

Балтийский щит. На Балтийском щите главные сульфидные медно-никелевые месторождения сосредоточены в Печенга-Имандра-Варзугском и Ладожско-Ботническом поясах. Г. Гаал [3] рассматривает последний как древнюю зону субдукции, разделяющую архейский кратон центральной части щита и протерозойские сооружения Юго-Западной Финляндии.

Печенга-Имандра-Варзугский пояс долгое время считали карельской геосинклиналью. В последнее время все большее признание получает идея о том, что он образовался в результате рифтогенеза древней сиалической коры в орогенных или субплатформенных условиях. Свидетельства о негеосинклинальной природе Печенга-Имандра-Варзугского пояса накапливались постепенно. По данным А.А. Предовского и др., активные тектонические движения отразились только на составе нижних горизонтов печенгского комплекса, несогласно залегающих на гранито-гнейсах и представленных конгломератами, андезитами, базальтами и их туфами. Г.Г. Дук подчеркнула антидромный характер вулканического пояса и на основании петрохимических данных выделила в его разрезе три формации (снизу вверх): андезит-базальтовую, субщелочных базальтоидов и пикрит-базальтовую. Наиболее полно связь протерозойского вулканизма с рифтогенезом раннедокембрийской коры обоснована в работе В.Г. Загородного и А.Т. Радченко [1].

Результаты проходки Кольской сверхглубокой скважины хорошо согласуются с этими выводами [2]. Исследования скважины выявили ряд новых фактов о тектонических структурах Печенгского района:

- доказано, что все осадочно-туфогенные и вулканогенные толщи печенгского комплекса имеют одинаковый наклон на юго-запад и не выполаживаются с глубиной;

- нижние горизонты печенгского комплекса осложнены мощными зонами рассланцевания и перекристаллизации пород, по которым проходили крупные перемещения блоков;

- именно эти зоны рассланцевания определяют геологическую природу наклонных сейсмических границ печенгского комплекса.

В сочетании с геофизическими данными геологические исследования скважины показали, что так называемая поверхность Конрада, или граница между "гранитным" и "базальтовым" слоями, не может быть объяснена ни переходом от более кислых пород к основным, ни резким фронтом метаморфизма пород, ни горизонтальными тектоническими зонами. Она связана с изменением физического состояния пород в глубинных частях континентальной земной коры.

Проходка Кольской скважины позволила на примере Печенгского района создать первую достоверную объемную модель древней континентальной земной коры. В ней формирование печенгского комплекса связывают с возникновением внутриконтинентального рифта. Наличие конгломератов и метаморфизованных кор выветривания в основании печенгского комплекса свидетельствуют о том, что протерозойские осадочно-вулканогенные толщи несомненно отлагались на жестком консолидированном основании. Растяжение земной коры

сопровождалось постепенным превращением внутриконтинентальной лагуны в мелководный морской бассейн и появлением все более контрастных вулканоплутонических серий. Специфика Печенгской структуры заключается в том, что протерозойский осадочно-вулканогенный комплекс возник в относительно стабильных условиях и затем подвергся крупным надвиговым перемещениям и метаморфизму. Эти процессы захватили также архейский комплекс и интенсивно изменили его.

Результаты бурения Кольской скважины доказали высокую насыщенность континентальной земной коры рудной минерализацией и позволили объяснить распределение разных типов минерализации последовательной сменой геологических процессов.

В кольской серии вскрыты железистые кварциты, образовавшиеся около 3 млрд. лет назад в результате подводного вулканизма и осадконакопления, а затем подвергшиеся складчатости и метаморфизму. С основными и ультраосновными интрузиями связаны магматические железо-титановые руды и сульфидная медно-никелевая минерализация.

В интервале 1540-1800 м в керне скважины обнаружен ранее неизвестный горизонт сульфидных медно-никелевых руд. Они связаны с интрузиями ультраосновного состава, внедрившимися около 2 млрд. лет назад на заключительном этапе формирования печенгского осадочно-вулканогенного комплекса и вместе с ним испытали прогрессивный метаморфизм. Исследования керна Кольской скважины подтвердили модель формирования сульфидных медно-никелевых руд Печенги, разработанную Г.И. Горбуновым. Согласно этой модели, более бедные руды имеют магматическое происхождение, а более богатые руды образованы в результате метаморфизма и гидротермальной деятельности.

Одним из неожиданных результатов проходки скважины явилось открытие в интервале 6-12 км зон дробления и трещиноватости. С ними связаны кварц-кальцит-хлоритовые прожилки с пиритом, пирротином, халькопиритом, галенитом и другими сульфидными минералами, которые отложились из гидротермальных растворов при температурах 240-280 °С. Возраст этой гидротермальной минерализации на основании некоторых косвенных данных оценивается в 1 млрд. лет.

Естественно, что проявления рудной минерализации на таких больших глубинах не имеют практического значения. Но они важны с теоретических позиций, ибо в сочетании с другими геологическими наблюдениями увеличивают в 3-4 раза существующие оценки вертикального диапазона эндогенного оруденения в земной коре и позволяют утверждать, что в процессе горизонтальных перемещений даже на больших расстояниях от поверхности могут возникать тектонические структуры, благоприятные для рудообразования.

Для оценки перспектив и направления дальнейших геологоразведочных работ в Печенгском рудном районе главной является идея об исходном горизонтальном залегании никеленосных интрузий и их расчленении на более мелкие фрагменты вследствие наложенных

тектонических процессов. По сравнению с ней на второй план отходят различия во взглядах на то, можно ли весь печенгский комплекс отнести к числу внутриконтинентальных образований или же верхняя часть разреза образовалась в океанической обстановке и т.д. Соответственно первоочередного внимания заслуживают вопросы о реконструкции первичной формы и внутреннего строения рудоносных интрузивов, о генезисе и факторах контроля богатых медно-никелевых руд.

Результаты бурения Кольской сверхглубокой скважины не только вызвали большой интерес на XXVII Международном геологическом конгрессе. Они стимулировали интерес к Печенгской структуре и на сопредельных территориях Финляндии, Норвегии, Швеции. В частности, А. Бертельсен и М. Маркер [4] развили представление о том, что Печенга-Имандра-Варзугский пояс представляет собой докембрийскую зону коллизии двух континентов, названную ими Кольской шовной зоной. В их интерпретации нижние части печенгского комплекса формировались на краю архейского континента, а верхние — в островодужных условиях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Загородный В.Г., Радченко А.Т. Тектоника раннего докембрия Кольского полуострова. Л., 1983. 96 с.
2. Кольская сверхглубокая. М., 1984. 490 с.
3. Медно-никелевые месторождения Балтийского щита. Л., 1985. 329 с.
4. Berthelsen A., Marker M. Tectonics of the Kola collision suture and adjacent Archean and Early Proterozoic terrains in the northeastern region of the Baltic Shield / D.A. Galson and St. Mueller (Editors) // The European Geotraverse. Part I: Tectonophysics. 1986. V. 126. P. 31-55.
5. Comston W., Williams I.S., Campbell I.H., Gresham J.J. Zircon xenocrysts from Kambalda volcanics: age constraints and direct evidence for older continental crust below the Kambalda-Norseman greenstones // Earth and Planetary Science Letters. 1986. V. 76. P. 299-311.
6. Naldrett A.J. Geochemistry of the Sudbury Igneous Complex: A Model for the Complex and Its Ores // Geology and Metallogeny of Copper Deposits. 1986. P. 91-110. (Proceeding of the Copper Symposium 27-th International Geological Congress Moscow, 1984).
7. Sims P.K., Card K.D., Lumbers S.B. Evolution of early Proterozoic basins of the Great Lakes region // Proterozoic Basins of Canada / Ed. E.H.A. Campbell // Geol. Surv. Canada. 1981. Paper 81-10. P. 379-397.

В.Е. Попов, В.М. Терентьев,  
Е.В. Туганова

#### ГЛАВНЕЙШИЕ ФОРМАЦИОННЫЕ ТИПЫ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИХ РАЗМЕЩЕНИЯ

Медно-никелевые сульфидные месторождения обладают целым рядом сходных особенностей. Все они пространственно и генетически ассоциируют с магматическими формациями ультрамафит-мафитового ряда, имеющими вполне определенные петрохимические и геохимические характеристики. Более того, постоянство рудной ассоциации (пирротин-пентландит-халькопирит и в общем аналогичные второстепенные и акцессорные минералы, сходство в морфологических типах, зональности рудных тел и контролирующих их локальных структур) обусловило традиционное объединение этих месторождений в единую рудную формацию, хотя по устойчивым связям с различными геологическими формациями обосновываются и более дробные расчленения [1-7].

На основе генетической связи с никеленосными магматическими формациями, типами рудоносных рифтогенных структур и особенностей состава локализованного в них никелевого, медно-никелевого и никелево-медного сульфидного оруденения и сопутствующих рудных компонентов выделяются следующие формационные типы месторождений.

1. Преимущественно никелевые месторождения, локализованные главным образом в докембрийских рифтогенных прогибах и их обрамлении и связанные: а) с коматиит-перидотитовой формацией, представленной лавами и силлами ультрамафитового состава (Камбалда в Австралии, месторождения пояса Абитибиды в Канаде); б) со сравнительно небольшими телами оливинит-гарцбургитовой формации (Алларченское месторождение на Кольском полуострове, улугаусский и щучинский комплексы Казахстана, пояс Томпсон в Канаде, ряд месторождений Западной Австралии и др.).

2. Медно-никелевые месторождения, приуроченные также к докембрийским рифтогенным прогибам и их обрамлению, связанные с несколько более дифференцированными магматическими ассоциациями: а) с расслоенными телами габбро-верлитовой формации, локализованными в центральных частях прогибов (Печенгские месторождения, рудопоявления пояса Унгава в Канаде); б) с расслоенными плутонами перидотит-пироксенит-норитовой формации, локализованными в консолидированной раме рифтогенных вулканических поясов (Мончегорское месторождение, Сёдбери и др.).

3. Никелево-медные месторождения, характерные для более молодых вулканогенных поясов (внутриплатформенных реактивированных древних рифтогенных прогибов) и связанные с расслоенными массивами оливинит-габбровой формации (месторождения норильского типа, Инсизва в Южной Африке и др.).

Кроме того, с рядом формаций ассоциируют месторождения и рудопроявления, промышленная значимость которых в настоящее время незначительна или недостаточно оценена, а структурное положение требует уточнения: с дунит(перидотит)–пироксенит–габбровой, дунит–гарцбургитовой и горнблендит–кортландитовой формациями, рудоносные тела которых (сложно дифференцированные интрузии, силлы, дайки) тяготеют как к прогибам рифтогенного характера, так и к протяженным долгоживущим интрузивно–дайковым поясам (Коталахти, Хитура и другие в Финляндии, Кааламо и Петусъярви в Карелии, месторождения Дальнего Востока, КНДР и др.). Оруденение часто медистого типа, носит, как правило, вкрапленный характер, обогащено компонентами, обычно рассматриваемыми как второстепенные (благородные металлы, молибден и др.). По ряду признаков оно, однако, отличается от оруденения других типично меднорудных или колчеданных никель– и кобальтсодержащих формаций (например, месторождений типа Оутокумпу и фальбандовых залежей на Балтийском щите, сульфидного оруденения в платформенных долеритах Сибири, габбро–диабазы Полярного Урала и др.).

При анализе геотектонической позиции промышленных медно–никелевых сульфидных месторождений обращает на себя внимание их исключительная приуроченность к структурам рифтогенного характера (рифтогеналям – «безинверсионным геосинклиналям», линейным внутриплатформенным прогибам трогового типа, секущим интрузивно–дайковым поясам зон тектоно–магматической активизации), связь крупнейших рудных районов с большим объемом извергнутых магматических масс при весьма значительной роли глубинного мантийного вещества. Рудоносные рифтогенные прогибы развиваются автономно, наследуя основные структурные линии более древних рифтогенных структур. Для их глубинного строения типичен ряд признаков: глубокие прогибы в фундаменте, достигающие 12–20 км, ограничивающиеся мантийными разломами; горсто–грабенные структуры; увеличенная мощность «базальтового» слоя по сравнению с «гранитным» в связи с его базификацией; повышенная плотность мантийных и коровых разломов, характерный для рифтогенных структур промежуточный слой («коромантийная смесь») между корой и мантией, имеющий сейсмическую скорость  $V_p = 7.3–7.8$  км/с. При региональной приуроченности к глубинным (мантийным) разломам – раздвиговым зонам, связанным с устойчивыми процессами растяжения земной коры, – месторождения нередко тяготеют к сопряженным или оперяющим их разломам, иногда к субгоризонтальным нарушениям, проходящим чаще всего по межформационным либо межъярусным поверхностям. Рудоносные интрузивы обычно располагаются на границе разнородных геологических формаций, а по времени своего внедрения запаздывают по отношению к комагматичным вулканическим процессам, во многих случаях оказываясь под экраном эффузивных толщ основного–ультраосновного состава. Многие типичные черты обнаруживаются и в локальных закономерностях их размещения (приуроченность к бортам структур более высокого порядка, узлам пересечения разломов, структурам проседания и т.д.).

Одной из наиболее важных закономерностей в размещении медно–никелевых сульфидных месторождений является отчетливо выраженная эволюционная тенденция в распределении различных типов оруденения и связанных с ними рудоносных магматических формаций (табл. 1 и 2). Она находит свое выражение как в общей эволюции никеленосных интрузивно–вулканических и интрузивно–дайковых поясов от докембрия до мезозоя, так и в процессе развития самих поясов и определяющих их рудоносных структур, например наиболее полно развитых протерозойских рифтогенных прогибов (рифтогеналей). Выявленные эволюционные ряды характеризуются в первую очередь более высокой магнезиальностью древнейших никеленосных магматических комплексов с соответственно большей долей ультрамафитов в них, что связано с частичной дебазификацией наиболее молодых членов эволюционных рядов под влиянием широко проявленного в фанерозое (R, Pz, Mz) толеит–базальтового магматизма (габброизация), так и более мощной консолидированной коры, что усиливало и процессы контаминации. Выплавление сульфидоносных магм, давших конечные члены эволюционных рядов месторождений, происходило в силу вышеотмеченного на больших глубинах при экстремальных РТ–условиях. И хотя в их состав входит меньшее количество ультрамафитов, они сопровождаются повышенной концентрацией тугоплавких элементов платиновой группы (ЭПГ), содержат реликты глубинных хромитов и хромистых клинопироксенов (Норильск), сходных с аналогичными минералами включений кимберлитов и других ультрамафитов, что подчеркивает их сходную (по глубине зарождения) природу.

Месторождения сульфидных медно–никелевых руд приурочены к ультрамафитам в начальных членах рядов или (частично) к перекристаллизованным ультрамафитам в конечных членах формационных рядов.

Намечается тенденция увеличения роли сопутствующих рудоносным магматическим интрузиям флюидов в конечных членах рядов, с чем, возможно, связаны наложенные медистые руды, обогащенность платиноидами и широкие ореолы метасоматитов вблизи рудоносных интрузивных тел. Не исключено, что именно метасоматические процессы обусловили приуроченность платиноидов к анортозитам, а не ультраосновным дифференциатам.

Упомянутые тенденции находятся в хорошем соответствии и с остальными эволюционными изменениями в обоих намеченных формационных рядах месторождений (см. рисунок) как в рифтогенных прогибах (интрузивно–вулканического), так и в рифтогенно–дизъюнктивных зонах (интрузивно–дайкового).

1. Увеличение роли габброидов в никеленосных интрузивных телах поздних стадий развития, связанное с влиянием на первоначально более значительные объемы ультраосновных пород перекристаллизующего действия толеит–базальтовых магм, либо потока глубинных флюидов, сопровождающих постмагматические процессы.

2. Закономерное увеличение отношения меди к никелю на порядок в обоих рядах месторождений от древних к молодым вследствие

Т а б л и ц а 1

Медно-никелевые месторождения в рифтогенных прогибах (рифтогеналях)

Формационный тип и примеры месторождений	Характер рудных полей			Связь с гранитоидами
	Рудовмещающие породы и их содержание в интрузивах	Морфология и параметры рудных тел	Локальные рудоконтролирующие структуры	
Никелево-медный оливинит-габбровый (Инсизва, Дулут; Норильск)	Плагиоклазовые оливиниты, перидотиты, меланократовые троктолиты („пикритовые габбро-долериты“); троктолиты, троктолитовые и оливиновые габбро-долериты („такситовые габбро-долериты-перекристаллизованные ультрамафиты“), 25-30 %	Пластообразные тела вкрапленных, сплошных и жильных руд. Протяженность - километры, мощность - десятки метров	Пологие нарушения в нижних контактах интрузивов; мульдообразные западины дна массивов и контракционные трещины	Гранодиориты в составе массивов
Медно-никелевый габбро-верлитовый (Грейт-Лейк, Дон-Дональд, Печенга)	Серпентинизированные перидотиты (верлиты), 75-80 %	Залежи сплошных руд в зонах брекчирования вдоль лежачих контактов массивов, реже - пластообразные залежи вкрапленных руд	Зоны брекчирования в лежачих контактах интрузивов; синклинальные прогибы дна интрузий	Не пересечены
Никелевый перидотит-коматитовый (Камбалда, Уиндарра; Шангани, Хэнтерс-Род)	Перидотитовые коматиты, силлы серпентинизированных дунитов, перидотитов, 100 %	Массивные руды в шлирах, жилах и штокообразных телах вдоль зон нарушений и складок в экзоконтактах ультрамафитовых потоков и силлов дунитов	Зоны контактов перидотитов и силлов дунитов	То же

Т а б л и ц а 2

Месторождения в обрамлении рифтогенных прогибов и интрузивно-дайкиных активизированных поясах

Формационный тип и примеры месторождений	Характер рудных полей			Связь с гранитоидами
	Рудовмещающие породы и их содержание в интрузивах	Морфология и параметры рудных тел	Локальные рудоконтролирующие структуры	
Никелево-медный перидотит-пироксенит-габбровый (Стиллуотер, Бушвельд, Коталахти, Довырен, Еланское)	Сульфиды в норитах, анортозитах, хромитовой и базальной зоне, платиноиды в анортозитах. Ультрамафиты составляют 10-15 %	Горизонты до десятков километров, мощностью до первых метров, трубчатые и жильные тела богатых руд	Пологие и субгоризонтальные трещины контактов даек и сдвиговые нарушения	Гибридные диориты и гранофиры в составе массивов
Медно-никелевый перидотит-пироксенит-норитовый (Седбери, Мончегорск)	„Донные залежи“, жилы, эруптивные брекчии в перидотитах и оливинитах, реже зоны нарушений в норитах. Содержание ультрамафитов 50-70 %	Пластообразные залежи вкрапленных руд протяженностью несколько километров, жилы мощностью до 1 м	Системы крутопадающих трещин	Пересекаются гранитами
Никелевый оливинит-гарцбургитовый (Томпсон, Аллареченское)	Оливиниты, гарцбургиты - до 100 %	Сложно ветвящиеся и пластовые залежи мощностью десятки метров и протяженностью первые километры	Системы интенсивной трещиноватости и будинажа внутри массивов и на их контактах	Захвачены процессами гранитизации (мигматиты, пегматиты)



Рис. 1. Сопоставление основных эволюционных тенденций в интрузивно-вулканическом (I) и интрузивно-дайкивом (II) рядах главных формационных типов сульфидных медно-никелевых месторождений.

1 - процентное содержание ультрамафитов в рудоносных комплексах; 2 - главные рудные компоненты и отношение никеля к меди в рудах; 3 - количество сопутствующих рудных элементов в концентрациях, пригодных для извлечения; 4 - платиноидный геохимический коэффициент  $(Pt + Pd)/(Ru + Jr + Os)$ ; 5 - роль перекристаллизации и метаморфизма руд; 6 - характерный возраст и эволюционная тенденция его удревления в каждом из рядов.

выплавления последних из недеплетированной ультраосновной мантии, богатой сульфидами меди. Аналогично никелю ведет себя и кобальт, наибольшие содержания которого связаны с архейскими коматитами.

3. Повышение роли элементов-примесей в рудах (Zn, Pb, Se, Te и др.) в том же направлении и особенно благородных металлов. Появление в наиболее поздних членах рядов Bi, Sb, As, Mo.

4. Закономерное изменение некоторых показательных геохимических параметров: возрастание отношения палладия к платине и суммы платины и палладия к более редким платиноидам - рутению, иридию и осмию от древних формационных типов выделенных рядов к более молодым, что, видимо, связано с различными геохимическими особенностями платиноидов (в частности, с их халькофильностью?) и поэтому особенно ярко проявляется в интрузивно-дайкивом ряду.

5. Характерна более значительная роль метаморфизма пород, вмещающих руды, для более древних членов рядов. Наибольшее значение имеет низкотемпературный региональный метаморфизм зеленосланцевой фации. При серпентинизации, хлоритизации, отальковании, амфиболитизации и карбонатизации в приконтактных зонах широко проявляются процессы рудного метасоматоза с образованием богатых („серых“) руд, развиты процессы перекристаллизации и регенерации. В конечных членах формационного ряда рудные тела сопровождаются маломощными метасоматическими изменениями (щелочные метасоматиты, магнезиальные скарны) либо реакционными

каймами (вкрапленные и шпировые руды) биотита, амфибола, фтор-apatита и других минералов.

6. Более значительная роль флюидов связана с наиболее молодыми членами выделенных рядов, что проявляется как в виде интенсивных метасоматических ореолов, сопровождающих интрузивные тела, так и в наложенном метасоматическом оруденении внутри интрузивов (медистые руды).

Эти общие тенденции, так же как и приуроченность и интрузивно-вулканического и интрузивно-дайкивого рядов к структурам устойчивого растяжения, не исключают и их существенных отличий.

Глубинность образования выделенных рядов формаций неоднозначна; если в вулканогенных прогибах месторождения образовались в приповерхностных (AR, PR<sub>1</sub>) или гипабиссальных условиях (T<sub>1</sub>) на глубинах до 3-5 км, то в интрузивно-дайкивых поясах они достигали весьма значительных глубин, причем увеличение последних происходило от конечных членов ряда к начальным.

Сведения о возрасте оруденения непрерывно пополняются, однако и на современном уровне знаний можно показать, что наиболее древним является оруденение в перидотит-коматитовых и оливинит-гарцбургитовых комплексах, а оливинит-габбровый и перидотит-пироксенит-габбровый появляются лишь в конце докембрия и характерны для фанерозоя.

Намеченные тенденции могут быть использованы при прогнозной оценке наиболее важных типов никеленосных структурно-металлогенических зон и направления поисковых работ в их пределах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ рудоносности перспективных площадей Балтийского щита / Под ред. В.Е. Попова. Л., 1986. 288 с.
2. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д.В. Рундквиста. Л., 1986. 751 с.
3. Ляхницкая И.В., Туганова Е.В. Региональные и локальные закономерности размещения медно-никелевых сульфидных месторождений. Л., 1977. 78 с.
4. Минеральные месторождения Кольского полуострова / Под ред. Г.И. Горбунова. М., 1981. 272 с.
5. Налдретт А.Д. Сульфидные никелевые месторождения: классификация, состав, генезис // Генезис рудных месторождений: Т. 2. М., 1984. С. 253-343.
6. Проблемы петрологии в связи с сульфидным медно-никелевым рудообразованием / Под ред. К.Д. Беляева и А.К. Симона. М., 1981. 236 с.
7. Ross J.R., Travis G.A. The Nickel Sulphide Deposits of Western Australia in Global Perspective // Economic Geology. 1981. Vol. 76. N 6. P. 1291-1329.

В.С. Голубков, Д.А. Додин,  
А.Н. Вишневский, М.Л. Шерман

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ НИКЕЛЕНОСНЫХ  
СТРУКТУР – ОСНОВА СТРАТЕГИИ  
РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ  
МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Трудами большого коллектива советских геологов разработаны основы научного прогноза медно-никелевых месторождений. Установлены глобальные, региональные, районные и локальные факторы их контроля, намечены критерии оценки интрузивных массивов и поисков связанных с ними месторождений. Глобальные факторы при- сущи всем никеленосным провинциям мира и заключаются в расположении их в пределах платформ или древних щитов вблизи глубинных планетарных разломов – зон сверхвысокой проницаемости коры и верхней мантии. Важной особенностью этих территорий является аномальность строения земной коры, наличие региональных максимумов силы тяжести, обусловленных сублинейными выступами в области границ Мохоровичича и Конрада. Именно в пределах указанных зон располагаются никеленосные дифференцированные мафит-ультрамафитовые интрузивы – производные соответствующих магматических комплексов (табл. 1), положительно специализированных на  $Cu, Ni, S, Cr, V$  и другие металлы (табл. 2); в них четко проявлен рудный тренд  $Fe^2 Fe^3 Cu Ni Co Pt Pd Au (Cr) \leftrightarrow Ca Al Si$  [5]. К глобальному литолого-стратиграфическому контролю оруденения относится наличие в разрезе осадочного чехла горизонтов различной пористости и проницаемости, благоприятных по своим физико-механическим свойствам для послонных инъекций. Для всех никеленосных регионов характерно широкое проявление метаморфизма как регионального (Печенгская структура), так и околорудного (Норильский регион).

К региональным металлогеническим предпосылкам относится наличие в пределах конкретной никеленосной структуры (провинции, области) факторов магматического, структурно-тектонического и литолого-стратиграфического контроля оруденения. Картирование этих факторов дает возможность наметить и оконтурить никеленосные структуры более мелких рангов – типа металлогенических зон и рудных районов. Внутри последних на основе использования различных локальных и оценочных поисковых критериев и признаков выделяются рудные зоны и поля, а также участки и площади, перспективные на медно-никелевое оруденение.

Главной металлогенической основой регионального прогноза является приуроченность медно-никелевых месторождений к нескольким эпохам рудообразования в понимании Ю.А. Билибина [2] и В.И. Смирнова [10] и конкретным „выдержанным рудоносным структурам или рудоносным поясам“ [11, с. 19]. Д.В. Рундквист также отмечает, что „планетарная металлогеническая зональность определяется в первую очередь линейными структурами...“ [8, с. 52].

Таблица 1

Геолого-петрографическая характеристика никеленосных траптовых магматических комплексов Норильского региона

Показатели		Комплексы	Структурно-металлогенические зоны			
			I	II	III	IV
Мощность пород эксплозивной и эффузивной фаций	Пределы колебаний, м	А	160-380	70-155	-	-
		Б	500-660	400-740	200-530	100-130
		В	650-1000	550-960	210-660	430-520
	Средняя, м	А	300	115	-	-
		Б	580	570	365	115
		В	825	690	405	475
Распространенность раз- новидностей пород экспло- зивной и эффузивной фа- ций, %						
2.1. Пикритовые базальты		А	20.0	-	-	-
		Б	0.9	-	-	-
2.2. Оливинофировые ба- зальты		А	1.0	-	-	-
		Б	0.9	-	-	-
2.3. Полифировые базальты		Б	34.4	11.4	6.8	-
		В	0.6	-	-	-
2.4. Оливин-плагиофиро- вые базальты		А	8.3	17.4	-	-
		Б	6.9	5.3	15.2	-
		В	3.6	-	-	-
2.5. Пироксен-плагиофи- ровые базальты		А	1.7	-	-	-
		Б	4.3	-	2.5	-
		В	-	-	-	3.2
2.6. Плагиофировые ба- зальты с микроде- литровой структурой		А	10.0	-	-	-
		Б	17.2	20.1	18.0	-
		В	13.4	24.0	-	6.3
2.7. Плагиофировые ба- зальты с пойкилоо- фито-интерсертальной структурой		А	-	5.8	6.1	4.2
2.8. Гломероплагиофи- ровые базальты		В	9.7	-	-	-
2.9. Анамезиты		А	-	30.4	-	-
		Б	-	15.8	6.8	-
		В	40.0	34.7	14.8	-
2.10. Базальты с пойки- лоофито-интерсер- тальной структурой		Б	-	-	-	4.0
		В	24.8	18.1	33.4	-
2.11. Измененные базаль- ты с пойкилоофито- интерсертальной структурой		А	20.0	30.5	-	-
		Б	12.1	4.4	-	-
2.12. Измененные базаль- ты с толеитовой структурой		А	15.0	17.4	-	-
		Б	11.2	8.8	6.8	1.0

Таблица 1 (продолжение)

Показатели	Комплексы	Структурно-металлогенические зоны			
		I	II	III	IV
2.1.3. Андезитовые базальты	A	21.7	-	-	-
2.1.4. Шаровые лавы	B	-	-	5.5	-
	B	-	-	4.9	-
2.1.5. Туфы, туффиты, туфо-песчаники и т.д.	A	2.3	4.3	-	-
	B	12.1	34.2	38.2	95.0
	B	7.9	17.4	40.8	86.3
3. Распространенность типов интрузий, %					
3.1. Норильско-талнахский пикрит-габбро-диоритовый промышленно-никеленосный тип	A	73	-	-	-
	B	5	-	-	-
3.2. Моронговский троктолит-габбро-долеритовый слабоникеленосный тип		74.1	-	-	-
3.3. Фокинский пикрит-долеритовый потенциально-никеленосный тип		0.1	-	-	-
3.4. Курейский троктолит-долеритовый никеленосный тип		-	94.8	45.1	13.7
3.5. Амфиболитизированные и хлоритизированные долериты	A	9	42	100	1.4
	B	1	-	-	-
3.6. Субшелочные долериты	A	0,01	-	-	-
3.7. Титан-авгитовые долериты	B	1	1	-	-
3.8. Оливиновые и оливинсодержащие долериты	A	17	58	-	98,6
	B	94	99	100	-

Примечание. Комплексы: А - долерит-пикрит-базальтовый (сыверминский), Б - пикрит-долерит-базальтовый (надеждинский), В - троктолит-долерит-базальтовый (моронговско-мокулаевский). Структурно-металлогенические зоны: I - Норильско-Хараелахская, II - Хантайско-Горбичинская, III - Курейско-Северореченская, IV - Нижнетунгусская.

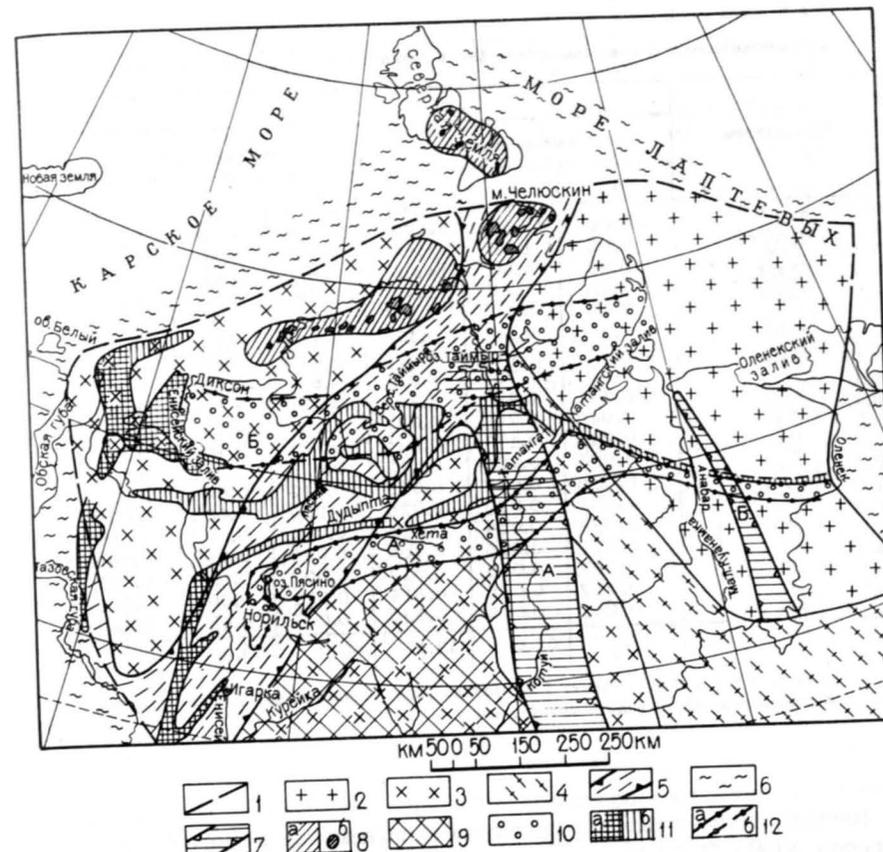


Рис. 1. Схема соотношения структурного плана дорифейского основания и магмоконтролирующих структур периода активизации Енисей-Североземельского пояса и прилегающих территорий.

1 - граница Северо-Азиатского кратона; 2 - протоядра сиалической коры (катархея); 3 - внутрикратонные протогеосинклинали предкарельской стабилизации; 4 - "протоплиты" на склонах катархейских ядер; 5 - внутрикратонный Таймыро-Тунгусский геосинклинальный трог посткарельской стабилизации; 6 - внешнекратонный геосинклинальный пояс незавершенного развития; 7 - протоядра лакогены (А - Котуй-Байкальский, Б - Уджинский); 8 - области развития позднепалеозойских и мезозойских гранитоидов (а, в том числе - крупные интрузии (б)); 9 - ареальный тип магматизма (Тунгусская гетерогенная синеклиза); 10 - линейно-ареальный тип магматизма (А - Норильско-Оленёкский и Б - Южно-Таймырский прогибы); 11 - линейный тип магматизма, системы тафrogenных депрессий (палеорифтовые зоны: а - Западно-Сибирская, б - Тургайско-Хатангская); 12 - границы Норильско-Оленёкского (а) и Южно-Таймырского (б) прогибов.

Таблица 2

Средневзвешенный состав различных фаций никеленосных и других траптовых

Компоненты	сыверминский			надеждинский		
	1	2	3	1	2	3
	SiO <sub>2</sub>	49,06	47,59	48,87	50,83	47,79
TiO <sub>2</sub>	1,45	1,18	1,41	0,949	1,36	1,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,98	14,60	14,06	14,66	14,62	14,66
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,89	4,21	3,93	3,33	4,17	3,44
FeO	7,49	8,19	7,58	6,57	8,66	6,85
MnO	0,168	0,18	0,17	0,182	0,21	0,19
MgO	8,32	7,41	8,20	6,07	7,47	6,26
CaO	8,87	10,78	8,81	9,58	10,59	9,71
Na <sub>2</sub> O	2,19	2,48	2,22	2,25	2,46	2,28
K <sub>2</sub> O	0,946	0,75	0,921	1,16	0,67	1,10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,246	0,17	0,236	0,204	0,15	0,19
S	0,095	0,228	0,112	0,029	0,051	0,032
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,038	0,047	0,039	0,013	0,028	0,017
V	0,030	0,033	0,026	0,030	0,025	0,029
Ni	0,039	0,054	0,036	0,010	0,022	0,009
Co	0,007	0,005	0,006	0,005	0,013	0,006
Cu	0,007	0,063	0,013	0,007	0,010	0,007
Zr	0,017	0,008	0,014	0,011	0,005	0,011
Sr	0,041	0,028	0,039	0,027	0,033	0,020
f, %	57,8	62,6	58,4	62,0	63,2	62,2

Примечание. Фации: 1 - эффузивная и эксплозивная; 2 - интрузивная; 3 - эксплозивная, эффузивная и интрузивная.

комплексов северо-запада Норильского региона

	Комплекс			хараелахский	km-sm	хараелахский и кумгинско-самоедский (km-sm)		
	моронговско-мокулаевский			1	1	1	2	3
	1	2	3	1	1	1	2	3
	48,65	48,28	48,60	48,65	47,96	48,47	48,44	48,46
	1,14	1,43	1,18	1,35	1,30	1,34	1,43	1,36
	15,17	14,63	15,09	14,94	15,38	15,05	14,76	14,98
	4,25	2,45	3,99	4,88	5,02	4,92	3,22	4,47
	7,69	10,58	8,11	7,54	7,27	7,47	9,46	8,00
	0,19	0,23	0,20	0,20	0,20	0,20	0,22	0,21
	6,94	7,36	7,00	7,07	7,30	7,13	6,77	7,04
	11,11	10,46	11,02	10,91	11,00	10,93	10,48	10,81
	2,11	2,52	2,17	2,13	2,01	2,10	2,55	2,22
	0,49	0,76	0,53	0,38	0,53	0,42	0,68	0,49
	0,14	0,17	0,14	0,14	0,13	0,14	0,16	0,14
	0,039	0,32	0,045	0,014	0,014	0,014	0,083	0,026
	0,020	0,030	0,019	0,020	0,023	0,021	0,026	0,023
	0,023	0,036	0,034	0,024	0,066	0,038	0,035	0,039
	0,012	0,029	0,015	0,015	0,013	0,014	0,015	0,014
	0,004	0,007	0,005	0,006	0,005	0,006	0,006	0,006
	0,007	0,011	0,008	0,010	0,015	0,012	0,018	0,013
	0,008	0,005	0,009	0,008	0,007	0,008	0,010	0,008
	0,019	0,009	-	0,01	0,010	0,01	0,026	0,011
	63,3	64,0	63,4	63,7	63,5	63,5	65,2	63,9

вающимся от Енисейской петли в север-северо-восточном направлении на Центральный Таймыр (рис. 1).

Выделяется трансрегиональный Енисейско-Североземельский металлогенический пояс [3], протягивающийся вдоль трога на 1600 км (ширина около 300 км) до о-ва Октябрьской Революции на севере (рис. 2). Одной из ведущих рудных формаций пояса является медно-никелевая. Подчиненное (лока) значение имеют формации: медистых метасоматитов, медистых песчаников и сланцев, медно-молибденовая, колчеданно-полиметаллическая, медно-цеолитовая и металлоносных сланцев. Положение пояса на стыке Приенисейского перикратонного прогиба и Норильско-Таймырской системы поднятий и впадин в области предполагаемой нами зоны Беньофа-Заварицкого определяется наличием указанного выше трога посткарельской стабилизации. В рамках пояса выделяется ряд более мелких рудоносных структур (ранга провинций), в том числе Игарская меднорудная и Таймыро-Норильская никеленосная. В пределах последней, являющейся главным генератором никеленосного магматизма, устанавливаются Центрально-Таймырская и Кетско-Норильская субпровинции (никеленосные области), разделенные Тургайско-Хатангской тафрогенной депрессией. Промышленно-никеленосная Кетско-Норильская структура фактически располагается на стыке двух поясов: северо-восточного Енисейско-Североземельского и

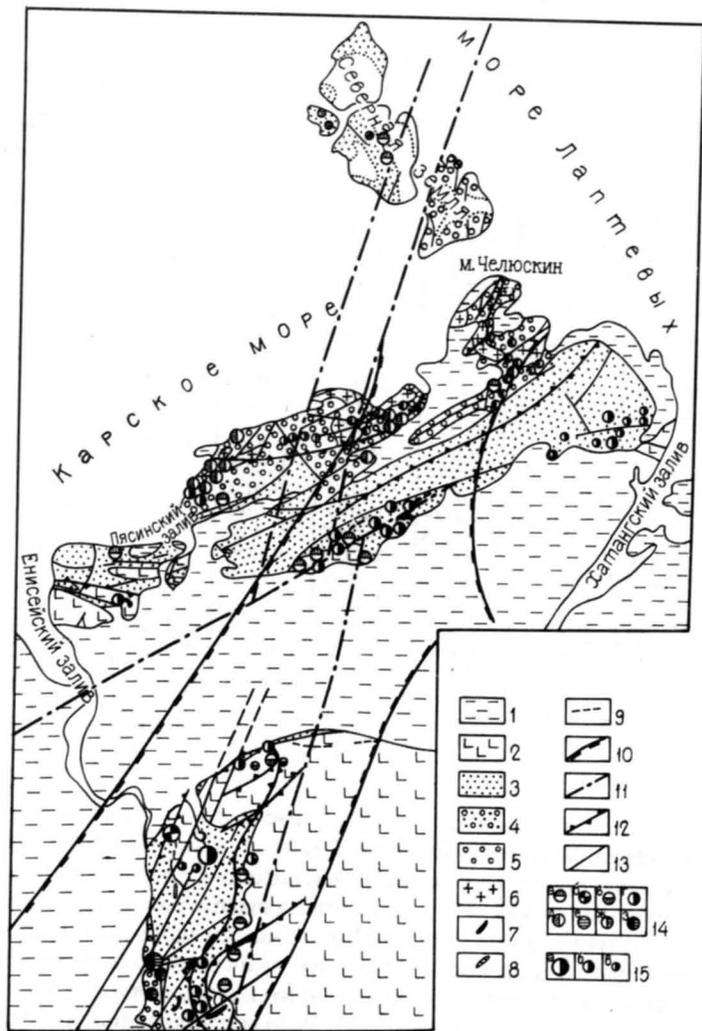


Рис. 2. Схема строения Енисей-Североземельского металлогенического пояса.

1 - мезокайнозойский чехол; 2-5 - стратифицированные образования: 2 - палеозойско-мезозойские вулканогенные и осадочные, 3 - палеозойские осадочные, 4 - протерозойско-палеозойские вулканогенные и осадочные, 5 - протерозойские осадочные и вулканогенные; 6-9 - интрузии: 6 - кислого и среднего, 7-9 - основного состава (7 - дифференцированные, 8 - недифференцированные, 9 - дайки); 10 - Таймыро-Тунгусский трог карелид; 11 - конседиментационные разломы; 12 - глубинные разломы; 13 - тектонические нарушения; 14 - меднорудные формации: а, б - средне-, позднемезозойские (а - колчеданно-полиметаллическая, б - медно-молибде-

субширотного Норильско-Котуйского [6] или Енисейско-Оленёкского [4]. Последний, по-видимому, является составной частью только еще намечаемого нами планетарного Арктического металлогенического пояса с целой серией разнородных и разновозрастных (протерозой-мезозой) никеленосных структур.

Далеко не все никеленосные объекты северо-запада Сибирской платформы сосредоточены в пределах пояса, приурочиваясь к разломам Таймыро-Тунгусской системы северо-восточного простирания. Определенная часть проявлений тяготеет к нарушениям Тунгусской системы восток-северо-восточного простирания (Курейская, Горбачинская, Бургуклинская зоны) и входит в состав другой никеленосной структуры, названной ранее Г.И. Кавардиным [6] Путоранской металлогенической областью. Между зонами пограничных Кета-Ирбинского и Имангдинско-Летнинского разломов и ограничениями Енисейско-Североземельского пояса существует переходная территория, в пределах которой в принципе могут (должны) присутствовать два типа оруденения, присущие и Кетско-Норильской промышленно-никеленосной и Путоранской никеленосной структурам. Кроме того, не исключена возможность проникновения рудоносных расплавов и флюидов по поперечным к Енисейско-Североземельскому поясу разломам Тунгусской системы. Расположение в них точек с богатым медно-никелевым оруденением позволяет предположить, что такое проникновение возможно на расстояние до 100 км.

Процесс развития рассматриваемого участка земной коры характеризуется неоднократным прорывом по трансформным и мантийным разломам мафитовых и гранитных магм и весьма продолжительным влиянием магматических очагов - источников рудных, обогащенных халькофилами флюидов, насыщающих проницаемые зоны чехла и фундамента. Структуры последнего определяли контуры и строение рудного пояса, а геохимическая специализация пород фундамента явилась первопричиной формирования позднепротерозойской рудной формации пояса - медистых песчаников и сланцев игарского типа. Этот вывод сделан на основании изучения закономерностей распределения меди, никеля, цинка, кобальта, хрома, ванадия в фемических минералах гранулитовых пород Анабарского щита, а также анализа их поведения в процессе диафтореза по мощным зонам - корневым частям глубинных разломов с развитыми на них трогами (параметры - сотни километров на несколько десятков километров), выполненными породами амфиболит-зеленосланцевой фации. При диафторезе освобождаются значительные количества меди, цинка, никеля, хрома, выносимые в вышележащие области троговых зон седимен-

новая), в, г - позднепалеозойские-раннемезозойские (в - медно-цеолитовая, г - медно-никелевая); д, е - ранне-, среднепалеозойские (д - черносланцевая с медью, е - медистые песчаники), ж, з - позднепротерозойские (ж - черносланцевая с медью, з - медистые песчаники); 15 - месторождения (а), рудопроявления (б), точки минерализации (в).

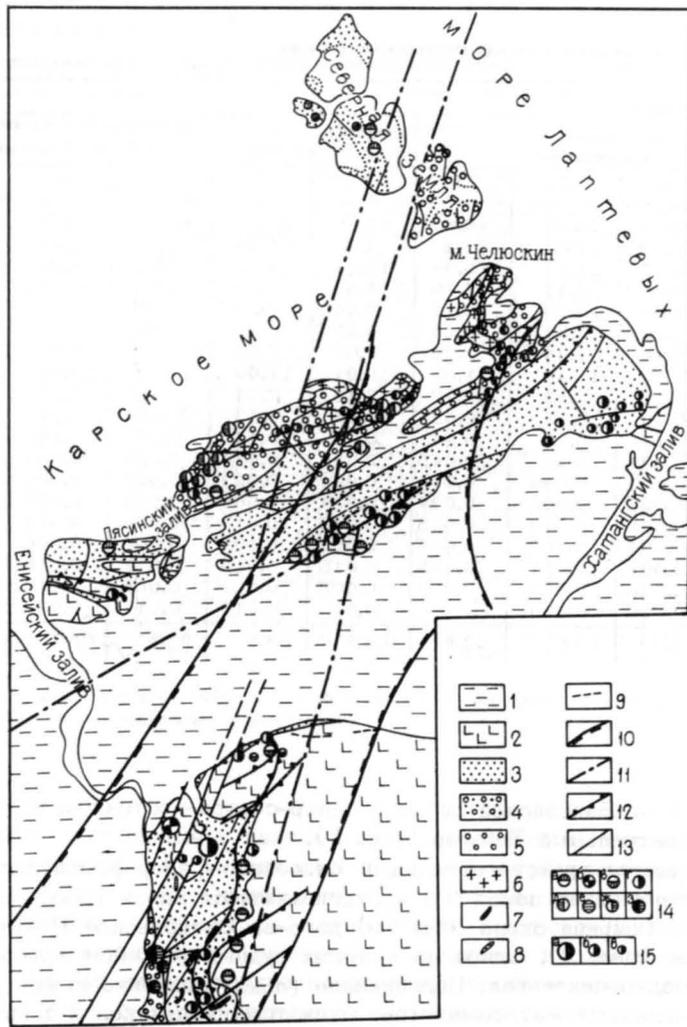


Рис. 2. Схема строения Енисей-Североземельского металлогенического пояса.

1 - мезокайнозойский чехол; 2-5 - стратифицированные образования: 2 - палеозойско-мезозойские вулканогенные и осадочные, 3 - палеозойские осадочные, 4 - протерозойско-палеозойские вулканогенные и осадочные, 5 - протерозойские осадочные и вулканогенные; 6-9 - интрузии: 6 - кислого и среднего, 7-9 - основного состава (7 - дифференцированные, 8 - недифференцированные, 9 - дайки); 10 - Таймыро-Тунгусский трог карелид; 11 - конседиментационные разломы; 12 - глубинные разломы; 13 - тектонические нарушения; 14 - меднорудные формации: а, б - средне-, поздне-мезозойские (а - колчеданно-полиметаллическая, б - медно-молибде-

субширотного Норильско-Котуйского [6] или Енисейско-Оленёкского [4]. Последний, по-видимому, является составной частью только еще намечаемого нами планетарного Арктического металлогенического пояса с целой серией разнородных и разновозрастных (протерозой-мезозой) никеленосных структур.

Далеко не все никеленосные объекты северо-запада Сибирской платформы сосредоточены в пределах пояса, приурочиваясь к разломам Таймыро-Тунгусской системы северо-восточного простирания. Определенная часть проявлений тяготеет к нарушениям Тунгусской системы восток-северо-восточного простирания (Курейская, Горбиачинская, Бургу克林ская зоны) и входит в состав другой никеленосной структуры, названной ранее Г.И. Кавардиным [6] Путоранской металлогенической областью. Между зонами пограничных Кета-Ирбинского и Имангдинско-Летнинского разломов и ограничениями Енисейско-Североземельского пояса существует переходная территория, в пределах которой в принципе могут (должны) присутствовать два типа оруденения, присущие и Кетско-Норильской промышленно-никеленосной и Путоранской никеленосной структурам. Кроме того, не исключена возможность проникновения рудоносных расплавов и флюидов по поперечным к Енисейско-Североземельскому поясу разломам Тунгусской системы. Расположение в них точек с богатым медно-никелевым оруденением позволяет предположить, что такое проникновение возможно на расстояние до 100 км.

Процесс развития рассматриваемого участка земной коры характеризуется неоднократным прорывом по трансформным и мантийным разломам мафитовых и гранитных магм и весьма продолжительным влиянием магматических очагов - источников рудных, обогащенных халькофилами флюидов, насыщающих проницаемые зоны чехла и фундамента. Структуры последнего определяли контуры и строение рудного пояса, а геохимическая специализация пород фундамента явилась первопричиной формирования позднепротерозойской рудной формации пояса - медистых песчаников и сланцев игарского типа. Этот вывод сделан на основании изучения закономерностей распределения меди, никеля, цинка, кобальта, хрома, ванадия в фемических минералах гранулитовых пород Анабарского щита, а также анализа их поведения в процессе диафтореза по мощным зонам - корневым частям глубинных разломов с развитыми на них трогами (параметры - сотни километров на несколько десятков километров), выполненными породами амфиболит-зеленосланцевой фации. При диафторезе освобождаются значительные количества меди, цинка, никеля, хрома, выносимые в вышележащие области троговых зон седимен-

новая), в, г - позднепалеозойские-раннемезозойские (в - медно-цеолитовая, г - медно-никелевая); д, е - ранне-, среднепалеозойские (д - черносланцевая с медью, е - медистые песчаники), ж, з - позднепротерозойские (ж - черносланцевая с медью, з - медистые песчаники); 15 - месторождения (а), рудопроявления (б), точки минерализации (в).

тогенеза и формирующие (цинк)–медные стратиформные месторождения. Последние, так же как и проявления металлоносных сланцев, регенерированные в более поздние эпохи, явились, вероятно, дополнительным источником металлов (главным образом меди) для медно–никелевых месторождений.

Рассмотренный пояс и провинции представляют собой вулканоминерагенические структуры (глобальные рудно–магматические системы первого и второго порядков), причем Таймыро–Норильская вулканоминерагеническая провинция окончательно формируется в этап наиболее интенсивной тектоно–магматической активизации платформы – позднепалеозойско–мезозойский. Предлагается гипотеза трехстадийной активизации: 1) начальная (ранняя саллическая) подготовительная позднепалеозойская; 2) средняя (фемическая) позднепермско–триасовая и 3) конечная (поздняя саллическая) в юре и меле. Первая стадия – эпоха зарождения и созревания мантийных магматических бассейнов и их миграции к подошве консолидированной коры. Именно в этих процессах связывается формирование коровых магм, которые дали начало внедрению трещинных интрузивов порфировых гранитов и прорывающихся через кору по стволным зонам глубинных разломов мелких порций базальтовых магм, насыщенных летучими. Существование этой стадии свойственно не только Сибирской, но и другим древним платформам – трапповым провинциям Декана, Карру, Австралии, Китая. Эволюция магматизма в течение средней стадии активизации приводит к образованию следующего ряда формаций: трахибазальтовая – трапповая – щелочно–ультрасосновная. Проявление трахибазальтов в начальные фазы тектоно–магматических циклов, по–видимому, можно считать глобальной закономерностью магматической активизации не только платформ, но также рифтовых и геосинклинальных зон. Именно в начальную фазу цикла расплав был обогащен подвижными компонентами, а также флюидами, способствующими подщелачиванию и ликвации магм, характеризующихся повышенной магнезиальностью и возникающих при почти полном плавлении мантийного материала, близкого по составу к магнезиально–железистому или алмазонному эколгиту. Наши находки в трахибазальтах муассонита свидетельствуют об определяющей роли водорода во флюидных потоках щелочного профиля.

Неоднородность мантии никеленосных структур, по–видимому, влекла за собой формирование крупных вулканических бассейнов – очаговых зон (региональных рудно–магматических систем), выделяемых по типу их рудоносности в качестве структурно–металлогенических зон: Норильско–Хараелахской, Курейско–Северореченской, Кетско–Кыстыхтахской, Хантайско–Горбиачинской, Южно–Быррангской, Нижне–Тунгусской и др. О длительном их развитии свидетельствует близость химизма вулканических продуктов в течение крупных временных интервалов – циклов и фаз, а как следствие – и отдельных фаций магматических комплексов (табл. 2). В структурном отношении рассматриваемые зоны представляют собой прогибы или впадины, причем Норильско–Хараелахская зона совпадает

с одноименным прогибом, развитие которого обусловило формирование важнейших медно–никелевых месторождений севера Сибири. В пределах наиболее насыщенной проявлениями сульфидных медно–никелевых руд Хараелахской мульды от ее северного крыла к Хантайско–Рыбинскому валу намечается подъем границы Мохоровичича от –47 до –42 км при возрастании мощности базальтового слоя от 14 до 20 км и уменьшении гранито–гнейсовой оболочки до 15–16 км. Ниже раздела Мохо располагается микроволновод – слой (2–5 км) пониженных (7 км/с) скоростей продольных волн.

В ранге никеленосных районов выделяются с присущим им мафит–ультрамафитовым магматизмом трапповые мульды, сопровождаемые валообразными поднятиями и разбитые поперечными системами разломов, из которых наиболее глубокие (мантийные) пересекают мульдообразные структуры по длинной оси. Промышленно–никеленосные районы характеризуются увеличенной мощностью гранито–гнейсовой оболочки и прогнутой границей Мохо, что свидетельствует о более значительных глубинах мантийных вытравов. Рассмотрение ряда построенных компонентных диаграмм с учетом степени выраженности рудного тренда дает возможность расположить никеленосные районы по снижению их рудоносности в следующем порядке: Хараелахский → Норильский → Иконо–Кыстыхтахский → Имандинский → Вологодчанский → Микчандский → Хантайскоозерский.

Склонность к поясовому размещению отмечается, как известно, и у других типов никеленосных массивов – чинейского, нюрндуканского, довыренского (Байкало–Муйский и Чуйско–Каларский пояса, [9, 7]), австралийского (зеленокаменные пояса) и т.д., что в общем определяет близость или единство стратегии регионального прогноза и поисков медно–никелевых месторождений. При этом решается проблема прогнозирования никеленосности (в составе общей рудоносности) крупных слабоизученных территорий типа Центрально–Таймырской, Западно–Таймырской и Восточно–Таймырской областей, Хантайско–Горбиачинской, Нижнетунгусской и Котуй–Маймечинской структурно–металлогенических зон. Главная цель – определение естественных границ рудных районов и зон, по которым существенно меняется набор геологических, геохимических и геофизических параметров.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисов Г.П., Голубков В.С. Глубинное строение центральной части Норильского рудного района по данным МОВЗ–ГСЗ // Сов. геология. 1984. № 10. С. 86–94.
2. Билибин Ю.А. Металлогенические провинции и металлогенические эпохи. Л., 1955. 85 с.
3. Додин Д.А., Вишневецкий А.Н., Голубков В.С., Шануренко Н.К. Енисейско–Североземельский меднорудный пояс (проблемы и перспективы) // Рудномагматические комплексы северо–запада Сибирской платформы и Таймыра. Л., 1985. С. 5–15.

4. Д ю ж и к о в О.А. Енисейско-Оленёкский рудный пояс севера Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. 1985. № 3. С. 16-33.

5. Д у д е н к о Л.Н., Д о д и н Д.А., В и ш н е в - с к а я Ю.Е. Математические методы анализа вариаций составов метасоматических образований // Измененные породы и их поисковое значение. Л., 1981. С. 78-118.

6. К а в а р д и н Г.И. Металлогения северо-запада Сибирской платформы. Л., 1976. 159 с.

7. К о н н и к о в Э.Г. Дифференцированные гипербазит-базитовые комплексы докембрия Забайкалья. Новосибирск, 1986. 217 с.

8. Р у н д к в и с т Д.В. Формирование планетарной металлогенической зональности в ходе эволюции земной коры // Металлогения и новая глобальная тектоника. Л., 1971. С. 52-60.

9. С а л о п Л.И. Геология Байкальской горной области. Т. 1. М., 1964. 515 с.

10. С м и р н о в В.И. Эндогенная металлогения // Тектоносфера Земли. М., 1978. С. 121-174.

11. Щ е г л о в А.Д. Эндогенная металлогения Западного Забайкалья. Л., 1966. 278 с.

Е.В. Баташев, Е.С. Заскинд,  
О.М. Конкина, В.И. Кочнев - Первухов,  
В.К. Степанов, Д.М. Туровцев,  
В.А. Федоренко

#### ПРОБЛЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Медно-никелевые месторождения не обнаруживают закономерной пространственной приуроченности к определенным континентальным геоструктурам. Они размещаются в фундаменте платформ и его выступах (щитах), в окраинно- и внутриконтинентальных геосинклинально-складчатых системах и в областях активизации платформенного чехла.

Древние месторождения фундамента платформ и щитов разделяются в зависимости от типа вмещающих структур на четыре группы: в зеленокаменных поясах; в протогоеосинклиналях, заложенных на гранито-гнейсовом основании; в гранито-гнейсовых выступах или ядрах; в областях вулкано- и плутоно-тектонической протоактивизации, включая эпикратонные прогибы.

Различия в геотектонической позиции решающим образом влияют на состав продуктивных формаций мафит-ультрамафитов и геохимические характеристики связанных с ними месторождений.

© Е.В. Баташев, Е.С. Заскинд, О.М. Конкина,  
В.И. Кочнев-Первухов, В.К. Степанов,  
Д.М. Туровцев, В.А. Федоренко, 1990

Зеленокаменные пояса вмещают рудоносные массивы двух формационных типов - коматиит-верлитового (камбалдинский тип) и дунит-верлитового (тип Персеверанс). Строение и состав зеленокаменных структур, особенности взаимоотношений зеленокаменных образований с комплексами рамы детально описаны в многочисленных публикациях. Многие специалисты по докембрийской тектонике континентов относят к категории зеленокаменных поясов различные по своей природе синформные структуры с разными соотношениями заполняющих их вулканитов и осадков. Медно-никелевые месторождения приурочены только к существенно вулканогенным поясам.

Разрез таких поясов сложен коматиитовыми, толеит-базальтовыми и известково-щелочными вулканитами с прослоями кремнистых пород, углисто-кремнистых сланцев, полосчатых железистых кварцитов, граувакк и пирокластов. Намечается последовательное изменение состава вулканитов в сторону возрастания в верхних сериях объема кислых разностей. В этом же направлении увеличиваются количество и мощность прослоев метаосадков.

Рудоносные перидотитовые коматииты расположены чаще всего в нижней части разреза вулканитов среди толеитов и коматиитовых базальтов, подстилаются обычно толеитами и метаосадками. Дайкообразные массивы дунит-верлитовой формации размещаются на границе эффузивов с осадками или на границе кислых и основных эффузивов, лишь в редких случаях обнаруживая секущие взаимоотношения с вмещающими вулканитами и метаосадками.

Отличительной особенностью состава руд всех месторождений зеленокаменных поясов является очень большая величина никель-медного отношения, сохраняющаяся как для вкрапленных, так и для массивных руд (никель/медь от 10 до 50, в среднем 15-20).

К числу наиболее важных задач изучения зеленокаменных поясов относятся:

- определение возрастных взаимоотношений зеленокаменных толщ с окружающими гнейсами и первичных размеров зеленокаменных поясов;

- выявление природы никеленосных ультраосновных пород (вулканиты или интрузивы) и разработка химической и минеральной классификации коматиитов для четкого разделения с перидотитами, пикритами и высокомагнезиальными базальтами;<sup>1</sup>

- установление возможных тектонических повторов (надвиговых чешуй) разных порядков в стратиграфическом разрезе поясов.

Особый интерес с точки зрения прогнозирования никеленосных площадей представляют проблемы временных и пространственных (на глубину и по латерали) соотношений зеленокаменных образований с гранулитами. В гранулитовых комплексах известны единичные

<sup>1</sup> Многие исследователи указывают на необоснованность выделения базальтовых коматиитов в особый тип базальтов, предлагая использовать термин „высокомагнезиальные базальты“.

месторождения сульфидного никеля, которые по совокупности признаков не сопоставимы с месторождениями зеленокаменных поясов (Селеби-Пикве в поясе Лимпопо, район Ловно на Кольском полуострове).

Актуальной задачей является анализ перспектив никеленосности древних зеленокаменных поясов с возрастом более 3 млрд. лет. Можно привести единичные примеры существования медно-никелевых месторождений в древних поясах. Р. Вильюн и соавторы предположительно связывают образование месторождения Шангани в Южной Африке с периодом формирования зеленокаменной группы Себаке, вероятным литостратиграфическим аналогом группы Онвервахт [3, 4]. В других регионах месторождения в первичных зеленокаменных поясах не известны.

Протогеосинклинальные структуры вмещают никеленосные массивы габбро-верлитовой формации (печенгский тип). Протогеосинклинали по характеру строения и составу слагающих их вулканических и осадочных толщ обнаруживают некоторое сходство с зеленокаменными поясами, особенно с верхними этажами последних. Аналогии проявляются в преимущественном развитии толеитов при подчиненном количестве прослоев кислых эффузивов и высокомагнезиальных базальтов (коматитов?), наличии колчеданосных горизонтов, широком распространении никеленосных ультрасосновых и дифференцированных габбро-перидитовых массивов. Согласно представлениям некоторых геологов, зеленокаменные пояса и протогеосинклинали принадлежат к единому классу структур, возникших в условиях рифтогенеза. В систематике докембрийских рудоносных структур Т.В. Билибиной, В.И. Казанского и Н.П. Лаверова протогеосинклинали на сиалическом фундаменте относятся к эпикратонным шовным зонам с базит-гипербазитовым заполнением [1].

Пример хорошо изученного Печенгского района показывает, что между протогеосинклиналями на гранито-гнейсовом основании и зеленокаменными поясами имеются существенные отличия. Они выражены в антидромной направленности вулканизма в протогеосинклинальных прогибах, присутствию в отдельных частях разреза щелочных и субщелочных базальтоидов (муджиериты и трахибазальты верхней части второй вулканогенной толщи Печенги), а также в наличии признаков, бесспорно указывающих на наложенный характер протогеосинклинального прогиба по отношению к гранито-гнейсовому основанию. Различия вырисовываются еще более явно при анализе состава и строения рудоносных массивов и особенностей оруденения печенгского прогиба (магматическая стратификация интрузивов от оливинитов до габбро, величина отношения никель/медь равна 2-4). Указанные отличительные особенности вряд ли можно объяснить только спецификой индивидуального развития структур.

Гранито-гнейсовые выступы вмещают никеленосные массивы оливинит-гарцбургитовой формации (аллареченский тип). Выступы сложены основными, средними и кислыми породами. Основные разности представлены сланцеватыми частично

мигматизированными амфиболитами, а средние и кислые - разнообразными гнейсами, гнейсовидными плагиогранитами, гранодиоритами, мигматитами, реже тоналитами и массивными плагиогранитами. В некоторых областях щитов среди гнейсов и мигматитов встречаются останцы кварцитов, мраморов, роговиков, железистых кварцитов.

Геологи, изучавшие рудоносные массивы Аллареченского района, указывают, что размещение интрузивов подчиняется двойному контролю: а) они концентрируются в зонах крупных тектонических нарушений вдоль границ гнейс-мигматитов кольской серии с габбро-диоритовым комплексом или с метадиабазами, зелеными сланцами, амфиболитами тундровой серии; б) большинство интрузивов приурочено к прерывистым горизонтам амфиболитов, облегающих гнейсовые куполовидные поднятия [2 и др.].

По химическому составу оливиниты и гарцбургиты заметно отличаются от фанерозойских повышенным содержанием железа (на 6-8%) и более низкой магнезиальностью (на 5-8%). Руды локализуются преимущественно в контактовых зонах гипербазитовых тел.

В областях вулкано- и плутоно-тектонической протоактивизации чехла и фундамента протоплатформ, включая эпикратонные прогибы, формируются рудоносные массивы пироксенит-лерцолит-габбро-норитовой формации (бушвельдский и мончегорский или мамоновский типы). Они размещаются в амфиболит-гнейс-мигматитовых комплексах фундамента древних кратонов (Стиллаутер) или в эпикратонных прогибах, выполненных недислоцированными или сланцеватыми осадками и вулканитами (Бушвельд). Следует подчеркнуть, что обстановки нахождения месторождений выражаются через состав, количественные и пространственные соотношения вмещающих толщ, слагающих определенный структурный этаж, с которым рудоносные массивы обнаруживают тесные временные и пространственные связи. Однако в ряде случаев породы рамы месторождений представлены более ранними образованиями нижнего подстилающего структурного этажа.

С гигантскими расслоенными плутонами основного-ультрасоснового состава связаны комплексные платиновые, хромитовые и медно-никелевые месторождения. К этому формационному типу относят массивы Бушвельд, Стиллаутер, Великую Дайку. Вероятно, к этой же группе следует причислить норитовый лополит Садбери, состав и строение глубоких горизонтов которого пока не известны.

Помимо различий в размерах существуют другие важные признаки, позволяющие обособить плутоны бушвельдского типа от близких к ним по составу интрузивов мончегорско-мамоновского типа: существование в первых четкой магматической расслоенности с ритмичным строением отдельных зон; наличие горизонтов пироксенитов, плагиопироксенитов и анортозитов в „переходных“ зонах от ультрасосновых к основным породам; обогащенность „переходных“ зон сульфидами меди, никеля, железа, минералами платиновых

докембрийские и фанерозойские никеленосные структуры рассматриваются в ранге металлогенических зон. Конкретизация их перспектив обеспечивается составлением прогнозных карт на структурно-формационной основе. Большая часть методов прогнозной оценки, разделяемых на геологические, геофизические, геохимические, геометрические, геолого-экономические, математические и прямого расчета, основана на принципе соответствия металлогенических и структурно-формационных единиц разного ранга. Районирование никеленосных зон должно базироваться на результатах выявления комплекса необходимых и достаточных разграничительных признаков металлогенических площадей – рудных районов, рудных полей, месторождений и рудных тел. Задачи крупномасштабного районирования нельзя считать решенными даже для хорошо изученных территорий (Норильск, Печенга). Многообразие признаков никеленосных площадей определяется существованием тройного контроля – структурно-тектонического, литолого-стратиграфического и магматического. Главные затруднения связаны с требованием картируемости (однозначности) признаков. Такое требование продиктовано не только формальными соображениями. Оно обеспечивает достоверность локального прогноза и правильное решение практических задач по оценке прогнозных ресурсов и оптимальному планированию геолого-разведочных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Билибина Т.В., Казанский В.И., Лавров Н.П. Основные типы рудоносных структур докембрия // Металлогения раннего докембрия СССР. Л., 1984. С. 14-32.
2. Зак С.И., Кочнев-Первухов В.И., Прокуряков В.В. Ультраосновные породы Аллареченского района, их метаморфизм и оруденение. Петрозаводск, 1972. С. 1-129.
3. Viljoen R.P., Viljoen M.J. The geology and geochemistry of layered ultramafic bodies of the Kaapmudien area, Barberton Mountain Land // Geol. Soc. South Africa Spec. Pub. 1969. N 1. P. 661-688.
4. Viljoen M.J., Bernasconi A., van Coller N., Kinloch E., Viljoen R.P. The Geology of the Shangani Nickel deposit, Rhodesia. // Econ. Geol. 1976. Vol. 1, N 1. P. 76-96.

В.В. Дистлер, Г.И. Горбунов

#### ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Современный уровень познания общих закономерностей размещения медно-никелевых месторождений, их соотношения с тектономагматическими процессами обусловил развитие представлений о месторождениях как составной части рудно-магматических систем, формирующихся на этапах наиболее крупных перестроек континентальной земной коры. Это положение определяет тот круг вопросов, которые требуют рассмотрения в проблеме генезиса медно-никелевых месторождений. На некоторых, с нашей точки зрения, наиболее важных мы остановимся в настоящей статье. В их числе: источники сульфидного вещества медно-никелевых месторождений, структурно-тектонические обстановки рудогенеза и закономерности формирования оруденения, процессы магматической дифференциации и рудоотложения.

Рудное вещество медно-никелевых месторождений в том или ином количестве входит в состав достаточно разнообразных по составу продуктов плавления мантии, однако лишь в определенных из них достигается та степень концентрации рудного вещества, которая соответствует экономическому понятию рудного месторождения.

Для доказательства влияния первичного состава сульфидов мантии на состав коровых проявлений медно-никелевой минерализации намечались вполне определенные исходные позиции, основывающиеся на результатах изучения мантийных пород, встречающихся в виде ксенолитов в глубинных магматических образованиях.

Установлено, что двум главным классам мантийных ксенолитов – основного и ультраосновного состава, представленных соответственно эклогитами и гранатовыми и шпинелевыми перидотитами, свойственны отчетливо индивидуализированные по фазовым соотношениям и составу парагенезисы мантийных сульфидов, которые при этом характеризуются различными параметрами равновесного распределения рудных компонентов между сосуществующими сульфидами и силикатами (рис. 1). В эклогитах средний состав сульфидов и моносульфидных твердых растворов характеризуется относительно низким валовым содержанием никеля и высоким меди, низконикелистым составом моносульфидных твердых растворов при относительно низком количестве ассоциирующего пентландита. Напротив, в высокомагнезиальных гранатовых и шпинелевых перидотитах сульфидные ассоциации характеризуются богатыми никелем моносульфидными твердыми растворами, широким развитием пентландита, высокой валовой концентрацией никеля и почти полным отсутствием меди. Эти особенности пород, соответствующих различным уровням расчлененной мантии, находят убедительное отражение в составе медно-никелевых месторождений.

В частности, в этом проявляется одна из наиболее общих закономерностей связи высоконикелистых руд с наиболее основными

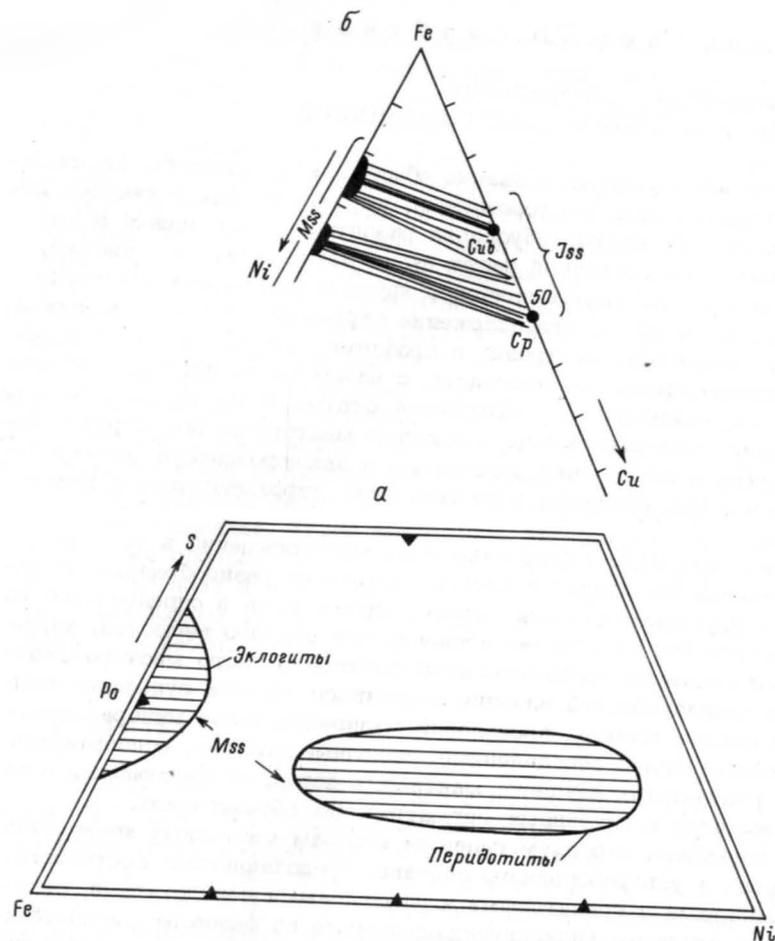


Рис. 1. Поля составов моносульфидных твердых растворов (а) и ассоциации рудных минералов (б) в глубинных ксенолитах кимберлитов.

рудносыми магматическими породами и менее богатых никелем, но обогащенных медью руд – с существенно базитовыми разновидностями. Установленное при этом в мантийных породах фазовое соответствие железо-никелевых и медных сульфидов полностью адекватно химическим соотношениям рудных минералов в месторождениях. Причем, практически в любых продуктах мантийного плавления, в том числе в базальтах современных океанических рифтов, выдерживаются единые закономерности фазовых соотношений сульфидов.

Детальный анализ многообразных сульфидосодержащих магматических продуктов свидетельствует об устойчивости однотипных фазовых

соотношений рудного вещества для каждого петрогенетического класса магматических образований независимо от их возраста, что несомненно связано с характеристиками исходных источников.

К проблеме источников магм и рудного вещества примыкает группа вопросов, касающихся влияния региональных структурно-тектонических факторов на условия рудоотложения медно-никелевых месторождений. В общем виде это отражено как определяющий признак в предложенной формационной классификации месторождений (см. ст. Г.И. Горбунова, В.В. Дистлера, Н.М. Чернышева в наст. сб.). Вместе с тем, оценивая особенности структурно-тектонической позиции рудных районов, нельзя не обратить внимание на тот факт, что достаточно часто, особенно для докембрийской эпохи, наблюдается совмещение разновозрастных и разноформационных типов месторождений в достаточно сближенных участках земной коры, а иногда практически полное их совмещение. Примером совмещения рудных районов является Родезийский кратон с проявлением сульфидной минерализации в рифтовых системах зеленокаменных поясов (абсолютный возраст 3.2–2.8 млрд. лет) и в линейных структурах, получивших название примитивных проторифтов, обусловивших развитие крупнейших интрузивных тел, таких как Великая Дайка и комплекс Бушвелд. Аналогичные примеры могут быть приведены для Канадского щита. Достаточно ярким примером может служить совмещение разновозрастных и разноформационных рудоносных комплексов и месторождений в пределах Карело-Кольского региона. Это система архейских зеленокаменных поясов с медно-никелевыми проявлениями и Бураковско-Аганозерский плутон в Карельском блоке. В Кольском регионе эта группа образований представлена следующими плутонами: Панские-Федоровы тундры, Мончетундра с Мончегорским рудоносным массивом и другие (абсолютный возраст 2.4 млрд. лет), печенгский вулкано-интрузивный сульфидоносный комплекс (абсолютный возраст 1.8–1.6 млрд. лет), приуроченный к внутриконтинентальной рифтовой зоне Печенга-Имандра-Варзуга.

Генерализованная структурная схема этого региона показана на рис. 2. Она включает главные типы магматических образований: ритмично-расслоенные плутоны (Монча, Панские-Федоровы тундры), вулкано-интрузивные рудоносные комплексы (Печенгская группа интрузий) и их более глубокие коагматы в архейских отложениях (образования Восточно-Печенгского узла с месторождением Карикъявр).

Структурно-генетические соотношения этих образований характеризуются следующей этапностью развития: формирование примитивного проторифта с ограниченным объемом латерального раскрытия, внедрение толеитовых сульфидосодержащих магм; заложение и развитие зоны, унаследующей положение более древней структуры, накопление вулканогенно-осадочной толщи; многоярусное внедрение гипабиссальных сульфидоносных интрузивов, коагматичных ультрабазитовым вулканитам, и формирование тел сульфидоносных интрузивов, образующих нижний ярус оруденения в породах кристалличе-

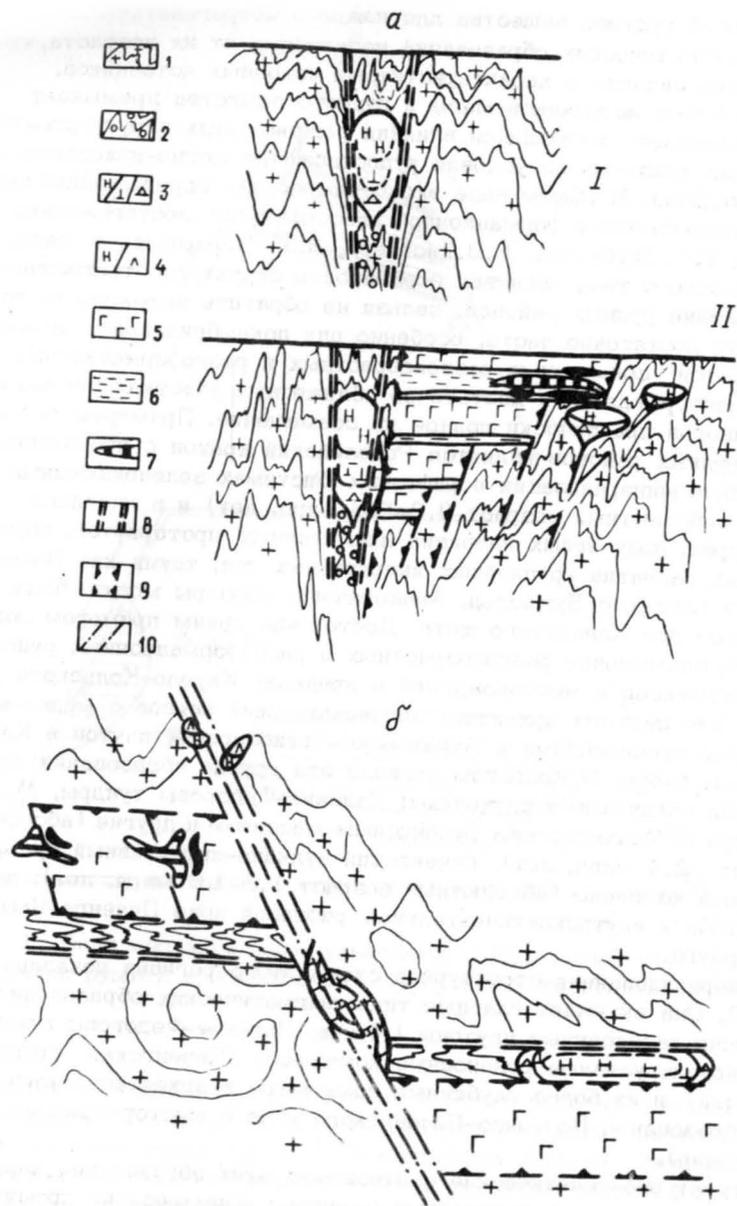


Рис. 2. Схема формирования структур и рудоносного магматизма (а - разрезы, б - план) Мончегорского (I) и Печенгского (II) рудных районов.

1 - породы архейского кристаллического фундамента; 2 - базифицированные породы кристаллического фундамента; 3 - ритмично-расслоенные норит-ортопироксенит-гарцбургитовые массивы Мончегор-

ского фундамента. На схеме не отражен этап формирования современного облика структуры, связанный с образованием печенгской моноклинали, будинированием сульфидоносных интрузивов, развитием процессов регионального метаморфизма пород и руд.

Установление природы совмещений разновозрастных и разноформационных сульфидоносных магматических образований в локальных участках земной коры предопределяет ряд важных генетических следствий: 1) существует взаимообусловленное размещение рудно-магматических комплексов, связанное с периодизацией тектонических структур различных классов, последовательно вскрывающих разные уровни расслоенной мантии; 2) каждый тип рудоносных структур характеризуется определенным типом магматизма и степенью его рудоносности, обусловленного глубиной и динамизмом развития структур; 3) очевидно, правилом является связь с линейными структурами толеитовых расплавов со свойственной им рудоносностью; 4) внутриконтинентальным рифтам соответствует высокорудоносный магматизм, связанный с более глубинными зонами магнообразования и представленный коматиитовыми и коматиитоподобными (нетолеитовыми) комплексами.

Вторая группа вопросов, также связанных со структурно-тектоническими режимами рудогенеза, включает их влияние на соотношение и роль процессов глубинной коровой и камерной дифференциации как фактора, определяющего ведущие механизмы концентрирования рудного вещества. Мы затронем лишь те вопросы, для решения которых в последнее время получены новые и достаточно интересные фактические данные.

Изучение закономерностей локализации оруденения главных формационных типов медно-никелевых месторождений с очевидностью доказывают ведущую роль двух механизмов концентрирования рудного вещества. Первый из них - концентрирование сульфидов в коровых магматических камерах в процессах дифференциации сульфидно-силикатных расплавов. Реальным отображением этого механизма является наиболее широко распространенный вкрапленный тип медно-никелевого оруденения, характерный для всех месторождений. Этот тип оруденения является практически единственным для сульфидоносных ритмично-расслоенных плутонов, связанных с линейными структурами типа примитивных проторифтов. Одноактное внедрение крупных магматических масс предопределяет совместный привнос сульфидов и силикатов в сферу рудоотложения

горского рудного района; 4 - норит-лэрцолитовые интрузивы Восточно-Печенгского рудного района; 5 - вулканиты рифтовой зоны Печенга-Имандра-Варзуга; 6 - осадочно-метаморфические породы; 7 - полнодифференцированные сульфидоносные интрузивы Печенгского рудного района; 8 - тектонические структуры этапа формирования примитивного проторифта; 9 - тектонические структуры этапа формирования рифтовой зоны Печенга-Имандра-Варзуга; 10 - трансформные тектонические структуры.

и локализацию сульфидов главным образом в пределах интрузивного тела.

Второй тип концентрирования — это обособление сульфидов в глубинных условиях и их поступление в сферу рудоотложения в виде богатых или существенно сульфидных расплавов, являющихся основным источником формирования богатых руд. Он характерен главным образом для рудных районов и месторождений, связанных с вулкано-интрузивными комплексами континентальных рифтов. Высокодифференцированный характер магматизма этих рудных районов подчеркивается чрезвычайным многообразием разновозрастных интрузивов, каждый из которых в какой-то мере содержит сульфидное вещество. Причем, относительно возрастные соотношения отдельных интрузивов не всегда являются однозначно определяемыми в силу весьма близкого времени их внедрения. Вместе с тем все интрузивы и медно-никелевые руды по своим петрохимическим и геохимическим характеристикам образуют единый генетический ряд магматической дифференциации, осуществляющейся в некоторых условиях глубинности. Примерами являются Норильский и Печенгский рудные районы с их обилием в разной степени сульфидоносных магматических тел.

Имеется целый ряд доказательств того, что маловероятно, чтобы каждое из таких магматических тел отражало последовательные акты магматического плавления на уровнях мантийного магмаобразования. Напротив, наиболее реалистической моделью являются процессы глубинной дифференциации на уровнях промежуточных магматических очагов. При этом чрезвычайно важно обратить внимание на то, что генетическое сообщество интрузивов в пределах единого рудного района в сущности отражает те реальные процессы магматической дифференциации, наблюдаемые в пределах отдельных интрузивов, которые развиты в тех же рудных районах и получили название полнодифференцированных. Сопоставимость этих разномасштабных явлений наполняет новым содержанием и придает актуальность проблеме промежуточной дифференциации глубинных магм и промежуточным очагам как факторам такой дифференциации. При этом необходимо обратить внимание на то, что формирование промежуточных очагов совершенно закономерно связывается с тектоническими режимами рифтогенеза. Эта связь выражается в том, что, во-первых, преобладание в рифтогенных режимах наряду с вертикальными движений латерального раздвижения предопределяет формирование объемов пространства, которое может заполняться магматическими массами; во-вторых, высокодинамический режим этих структур является главным условием для многоканального внедрения однородных или разнородных магматических расплавов за счет формирования разломов, одновременно или последовательно вскрывающих различные участки дифференцированного промежуточного очага. Многоканальная природа внедрения интрузивов в рудных районах находит все больше и больше геологических подтверждений. Следствием этих процессов является многоярусное распределение оруденения в рудных полях и месторождениях. В число производных

глубинной дифференциации входят также богатые медно-никелевые руды, представляющие интрузивную субфазу высокодифференцированного магматизма. Для Норильского рудного района получены прямые доказательства относительно более позднего возраста внедрения сульфидных расплавов, образующих массивные руды, по отношению к полнодифференцированным сульфидоносным интрузивам и сопровождающим их контактово-метаморфическим и метасоматическим образованиям.

Последняя группа вопросов, которые целесообразно затронуть в настоящей работе, касается проблем петрологии магматического рудообразования или сульфидной петрологии. В ее основе лежат теоретические положения о вполне подвижном поведении в магмах не только кислорода, но и серы, а также ведущей роли в рудоотложении соотношения их активностей как в расплавах, так и сосуществующих флюидах при изменении интенсивных параметров магматической системы в целом.

Несмотря на различие способа внедрения сульфидно-силикатных расплавов в горизонты земной коры, существует принципиальное сходство в парагенезисах рудных минералов и закономерностях их распределения независимо от принадлежности к различным формационным типам интрузивов. Это крайне важный вывод, обсуждение которого с позиции роли активностей серы и кислорода в рудоотложении позволяет утверждать, что все сульфидоносные интрузивы (месторождения) формируются на основе единых закономерностей поведения компонентов в магматических расплавах и вряд ли правомерны суждения, допускающие какой-то один механизм для одного месторождения и другой для остальных. В этой связи нами предложено следующее определение рудных парагенезисов магматических месторождений: главные сульфидные парагенезисы месторождений представляют собой не столько ассоциации различных рудных минералов, сколько ассоциации одних и тех же минеральных видов с дискретными вариациями химического состава, из которых наиболее существенными для медно-никелевых месторождений являются соотношения  $\sum Me / S$ , отражающие главные параметры состояния рудных жидкостей на предкристаллизационной стадии и состав моносульфидных твердых растворов, образующихся при их кристаллизации.

По величине соотношения  $\sum Me / S$  выделяются низкосернистые, высокосернистые и промежуточные парагенезисы, каждый из которых характеризуется дискретными границами химического состава минералов групп пирротина, пентлайдита, халькопирита, кубанита, сосуществующих шпинелей и др.; четкими параметрами распределения компонентов между фазами; связью с определенными ассоциациями силикатных фаз, образующих горизонты расслоенных интрузий.

Этим определяется фазовая расслоенность сульфидного оруденения, которая характеризуется развитием в пределах каждого стратифицированного интрузива парагенезисов сульфидов всех трех типов, но каждый из парагенезисов занимает определенные горизонты расслоенных серий или их части.

В общем случае фазовая расслоенность сульфидного оруденения выражается в развитии наиболее низкосернистых парагенезисов в ультрамафитовых рудоносных горизонтах и высокосернистых ассоциаций в горизонтах габброидов. В связи с этим каждому рудоносному массиву в соответствии с особенностями его строения свойственны свои черты пространственной зональности оруденения.

Характеристикой фазового соответствия сосуществующих сульфидов и силикатов является распределение компонентов между главными рудообразующими и породообразующими минералами. Экспериментально показано, что коэффициент распределения никеля и меди между сульфидной жидкостью и базитовым расплавом достигает 200–250 при 1255 °С и около 300 при 1300 °С. Представляется интересным оценить изменения коэффициентов распределения никеля между сульфидами и последовательно кристаллизующимися оливином, шпинелью, ортопироксеном и клинопироксеном.

В генетически связанных сериях сульфидоносных пород коэффициент  $K_{D \text{ су-ол}}^{\text{Ni}}$  возрастает от ультрабазитов (5.4) к габброидам (16.1) и при этом не зависит от валовой концентрации металла в расплаве. В безрудных ультрабазитах он также составляет 5.5, хотя валовая концентрация никеля в этих породах почти на порядок ниже. Различия в валовых концентрациях никеля отражаются лишь на его содержании в оливине: при равной магнезиальности оливинов (80–82 %  $F_0$ ) содержание в них никеля в рудных массивах достигает 0.3, а в безрудных – 0.10–0.16 мас. %. Коэффициент  $K_{D \text{ су-ол}}^{\text{Ni}}$  зависит от температуры равновесия сульфидной жидкости с сосуществующим расплавом: для сульфидоносных ультрабазитов значение  $K_D = 5.4$  соответствует 1300–1400 °С, а 17.1 – 1150 °С. Последнее весьма близко величине  $K_D$ , найденной экспериментально для  $M_{SS} - F_0$  при 1100° и составляющей 18.3. Коэффициент возрастает до 25.4 при 900 °С и 39.9 при 700 °С.

Распределение никеля в сосуществующих сульфидах и клино- и ортопироксенах отражает ту же тенденцию, установленную для сульфидов и оливина. Для одних и тех же пород  $K_{D \text{ су-орп}}^{\text{Ni}}$  и  $K_{D \text{ су-сп}}^{\text{Ni}}$  характеризуются существенно большими значениями. Величина коэффициента распределения возрастает при снижении температуры.

Распределение компонентов между сульфидами и силикатами помимо температуры регулируется изменением фугитивности кислорода в расплаве в процессе его кристаллизации. И хотя оба параметра связаны между собой, понижение  $f_{O_2}$  при последовательном выделении  $Ol + Sp$ ,  $Ol + Orp$ ,  $Pyx + El$  существенно влияет на равновесный обмен никелем между сульфидным и силикатным расплавами.

Эти данные определяют, что сульфидная жидкость принимает участие во всем комплексе явлений, связанных с зарождением сульфидосодержащих силикатных магм и их глубиной и камерной дифференциацией и кристаллизацией. Поскольку солидус сульфидного

расплава ниже солидуса силикатной жидкости, то в процессе эволюции магм сульфидная жидкость может сосуществовать с различными по составу силикатными жидкостями, состав которых изменяется в соответствии с закономерностями кристаллизации базитовых и ультрабазитовых расплавов. Положение о фазовом соответствии сосуществующих сульфидных и силикатных парагенезисов в сульфидоносных интрузивах доказывает, что параметры состояния и состав сульфидной жидкости – фугитивность серы, температура, насыщение металлическими компонентами, – задаются параметрами состояния сосуществующего силикатного расплава. Фазовое соответствие проявляется как на макроуровнях, соответствующих условиям формирования рудных горизонтов в целом, так и на микроуровнях, соответствующих условиям формирования отдельных вкрапленников сульфидов и отражающих условия равновесия в микрообъемах двух сосуществующих жидкостей. Начальные высокие температуры и высокая  $f_{O_2}$  в силикатном расплаве определяют минимальную  $f_{S_2}$  в сульфидной жидкости, и по мере снижения температуры происходит возрастание  $f_{S_2}$  в сульфидной жидкости, сосуществующей с низкотемпературным силикатным расплавом. Последовательная кристаллизация высоко- и низкотемпературных силикатных жидкостей приводит к „консервации“ каждого микрообъема сульфидного расплава с различными параметрами его состояния. Начиная с этого времени, исходная  $f_{S_2}$  будет определять особенности кристаллизации сульфидной жидкости и соответственно конечный состав сульфидных ассоциаций.

Таким образом, на основе анализа природных парагенезисов выявляется, что в генетически единых системах существует широкий диапазон составов сульфидных жидкостей, что является основным фактором размещения, зональности и скрытой расслоенности сульфидного оруденения стратифицированных интрузивов.

Для ряда месторождений в формировании современного облика оруденения определенное значение имеют процессы регионального метаморфизма. Основная роль этих процессов сводится к перераспределению раннего, собственно магматического рудного вещества и усреднению состава сульфидных ассоциаций.

В.В. З о л о т у х и н

### ПРОБЛЕМЫ МАГМАТИЗМА И ГЕНЕЗИСА СУЛЬФИДНОГО МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА

Проблема генезиса сульфидного  $Cu-Ni$  оруденения норильского типа не может быть корректно решена в отрыве от ряда сопряженных проблем магматизма северо-западной части Сибирской платформы. Автор полагает, что возникновение рудного месторождения есть результат достаточно редкого в природе наложения целого ряда разномасштабных благоприятных факторов.

Главной проблемой платформенного магматизма являются причины возникновения магматических формаций платформ, т.е. многообразия и специфики вещественного состава магматических проявлений на платформах, а также генетические соотношения щелочных и нещелочных пород. Эта глобальная проблема тесно смыкается с проблемой взаимоотношения траппового, магнезиально-базитового, щелочно-базитового, щелочно-ультрабазитового и кислого магматизма.

Наблюдаемая повторяемость близких по вещественному составу ассоциаций магматических пород во времени свидетельствует о цикличности интрузивной и вулканической активности на Сибирской платформе. Наиболее широко магматические породы проявились в среднепалеозойском и особенно позднепалеозойском-раннемезозойском циклах, когда максимально возрастает число одновременно проявляющихся формационных типов и комплексов. Судя по геологическим наблюдениям и вещественному составу магматических пород платформы, все их многообразие может быть связано с четырьмя типами пикритовидных (ультраосновных) исходных расплавов [3, 16], условия эволюции которых были несколько отличны. Глубинные генетические связи их между собой вероятны, но пока не ясны. Возникающие при фракционировании этих исходных расплавов породы могут быть объединены соответственно в четыре геологически наблюдаемых петрогенетических ряда. Для северо-запада Сибирской платформы наибольшее значение имеет следующий ряд: полевошпатовый пикрит-гипербазит-базитовые магматиты-нормальные траппы (трахибазальты). Обнаружение среди нормальных по щелочности пород разновидностей, обогащенных щелочами (заключены в скобки) и проявляющихся обычно в небольших объемах, можно объяснить локальным ошелачиванием ультрабазитовых и базитовых расплавов в промежуточных очагах, где параллельно идет и процесс фракционирования магмы. Этот процесс, связанный с подтоком в расплав флюидов, несущих щелочи и мигрирующих вдоль глубинных проницаемых зон, может происходить на различных стадиях эволюции исходных расплавов.

Таким образом, ключ к решению перечисленных выше проблем находится в решении проблемы варьирующей щелочности базитовых расплавов в сочетании с процессом их кристаллизационной дифференциации. Наряду с традиционной концепцией прямой зависимости щелочности расплавов от глубинности и обратной от степени продвинутости селективного плавления мантийного субстрата имеются также многообещающие представления, которые объясняют вариации щелочности расплавов и прежде всего их калиевости зависимостью от интенсивности флюидного потока, несущего щелочи, в поднимающихся базитовых и ультрабазитовых расплавах.

Чрезвычайно важна и интересна проблема многообразия траппов и исходной магмы для них. Работами последнего времени [18, 16] выявляется, что при моделировании процессов кристаллизации предполагаемых исходных расплавов, проведенном на ЭВМ по программе „Кристаллизация-М“ в соответствии с моделью магматической кристаллизации [27], получается достаточно хорошее соответствие со-

ставов расчетных и природных дочерних фракций. Путем такого моделирования на ЭВМ из исходного магнезиального пикритовидного расплава, отвечающего средневзвешенному составу норильских дифференцированных интрузий, выводятся составы остаточных жидких фракций, отвечающих всем интрузивным типам – бывшим „интрузивным комплексам“ [22]. Таким образом, старая концепция об исходной для траппов магме, отвечающей так называемому среднему траппу, не может быть сейчас признана удовлетворительной. Тем самым открывается возможность доказать генетические связи пикритовой, магнезиально-базитовой и трапповой (толеит-базальтовой) магм.

Следующая важная проблема – это причина формирования расслоенных гипербазит-базитовых интрузивов, в том числе рудоносных. Большинство исследователей доказывают, что эти интрузивы возникают в основном за счет кристаллизационной дифференциации пикритовидной магмы в камере; некоторые отводят главную роль в их формировании процессу сульфидно-силикатной ликвации обычной базитовой магмы в камере и на глубине [23]; другие авторы полагают, что интрузивы являются результатом многофазности [24], т.е. последовательного внедрения дифференциатов в камеру из промежуточного очага. Пикритовые габбро-долериты, в том числе рудоносные, расцениваются нами, как и большинством исследователей в качестве интрузивных кумулатов, являющихся комагматами пикритовых базальтов [16].

Одна из самых существенных проблем, связанных с формированием сульфидного  $Cu-Ni$  оруденения в интрузивах норильского типа, включает причины и условия возникновения в них пегматоидных тел – лейкократовых габброидов и такситовых горизонтов (нижних и верхних). Как известно, в расслоенных дифференцированных интрузивах Норильского района такие горизонты наиболее обогащены сульфидами-ширами и вкрапленностью. Мы полагаем [20], что это приконтактные горизонты вторичного переплавления контактовых и пикритовых габбро-долеритов вдоль зон пологих срывов в условиях насыщения этих горизонтов летучими компонентами, в том числе серой и  $H_2S$ . Пегматоидность в виде линз и шширов проявляется также и в горизонте габбро-диоритов с призматически-офитовой структурой, где местами также наблюдается вкрапленность сульфидов.

Продолжают этот ряд проблемы возникновения сульфидного медно-никелевого оруденения и главная из них – роль сульфидно-силикатной ликвации, если исходить из очень малой растворимости серы и сульфидов [1] в первоначальном расплаве, определенной экспериментально. Перед исследователями встает также проблема переноса и концентрации рудных компонентов и последующего связывания их с серой, перерастающая в проблему возникновения сплошных сульфидных руд, ибо гипотеза позднейшего внедрения рудной субфазы остается, как и ранее, остро дискуссионной. Большую роль в этом процессе, как мы полагаем [12], играют комплексные соединения – переносчики металлов, в том числе фтор-ацидокомплексные

с разрушением их и садкой полезных компонентов как на геохимических барьерах, так и в локальных зонах благоприятных РТ-условий [10]. Требуется дополнительное усиление к тому, что уже сделано [7] для корректного решения вопроса об источниках серы и определения степени и роли заимствованной серы из осадочных толщ рудоносными интрузивами. Хотя нет недостатка в высказанных гипотезах, все еще остается дискуссионной проблема источника рудных компонентов для сульфидного  $Cu-Ni$  оруденения.

Требуют дальнейшего изучения и объяснения обнаружившиеся на Талнахе факты прямой зависимости интенсивности сульфидного оруденения и величины сопутствующего метаморфо-метасоматического ореола, появления около сплошных руд явных околурудных изменений заведомо метасоматического характера [11, 13, 14]. Безусловно необходимо дальнейшее изучение реакционных заведомо метасоматических минералов и их ассоциаций, сопровождающих сульфидную вкрапленность во всех рудоносных дифференцированных интрузивах Норильского района [8]. Гипотеза генезиса сульфидов (точнее, их синтеза) на месте в камере интрузива, по нашему мнению, достаточно убедительно объясняет всю совокупность наблюдаемых фактов, в том числе каплевидность и расслоенность вкрапленников сульфидов в оруденелых пикритовых габбро-долеритах, которые являются одними из основных доводов сторонников ликвидационной концепции [5]. Остановимся несколько более детально на наших представлениях в этой части в настоящее время.

Мы полагаем [19], что условия формирования месторождений сульфидной  $Cu-Ni$  формации находятся в широком диапазоне от магматических через метасоматические к гидротермальным с переменной их ролью в каждом конкретном случае. Если к первично-магматическим относится главная масса глубинных сульфидов в коматититах, то они составляют лишь незначительную часть сульфидов в расслоенных комплексах гипербазит-базитового и базит-гипербазитового состава. Большая часть сульфидов этих расслоенных комплексов синтезируется в камерах интрузивов благодаря процессу сульфуризации в основном уже на постмагматическом этапе формирования интрузивов и часто сопровождается их метасоматической переработкой.

Идеи сульфуризации в приложении к генезису руд сульфидной  $Cu-Ni$  формации (кроме коматититовой субформации) дают наилучшее объяснение на всех стадиях рудообразования. Так, привнос серы глубинными флюидами или из вмещающих пород в силикатные ультрабазитовый или магнезиальный базитовый расплавы обеспечивает сульфуризацию [1] части железа с поглощением образующимся сульфидным расплавом заметной части микроэлементов, имеющих максимальное сродство с серой (никель, кобальт, медь). Однако более существенна роль сульфуризации при метаматическом преобразовании расплавов фильтрующимися флюидами [21] и особенно на стадии локального их действия при прохождении через малый объем основных пегматоидов [10, 15]. Метасоматическое преобразование интрузивов, включая сульфуризацию, продолжается

и позже, уже в твердом, но раскаленном их состоянии вдоль сети проницаемых направлений и особенно вдоль протопластовой системы трещин отдельности. На этапе метаморфического изменения твердых интрузивов [25, 9, 2] сульфуризация также возможна, и тогда может иметь место значительный разрыв во времени между формированием оруденения и вмещающего его интрузива. В чисто метаморфических условиях, как и на раннем магматическом этапе, сульфуризация может проявляться как процесс, где подвижны лишь сера и прочие флюиды. Подвижность компонентов значительно возрастает как на магматической стадии пегматоидов (метаматизм), так и особенно на высокотемпературном метасоматическом этапе, когда наряду с серой и щелочами становятся локально подвижными все главные компоненты силикатных пород. Это делает возможным интенсивное замещение сульфидами силикатных пород со всеми переходами от вкрапленных до сплошных сульфидных руд. Процесс оруденения здесь идет с относительным возрастанием кислотности флюидов с понижением температуры.

Базит-гипербазитовые и гипербазит-базитовые никеленосные магматические комплексы сами, судя по их кларкам [4], являются источниками главных компонентов руд. Сульфуризация рудных компонентов первоначально осуществляется при высоких температурах расплавов и рудоносных флюидов с образованием „первично-магматических“ руд, переходящих далее в средне- и низкотемпературные руды, уже несомненно относящиеся к гидротермальным. При этом возможны неоднократное переотложение и локальное концентрирование рудного вещества. Вместе с тем остается проблематичным источник серы.

Как известно, выплавление сульфидно-силикатных расплавов из мантийного субстрата иногда привлекается для объяснения формирования всего многообразия сульфидных  $Cu-Ni$  месторождений [6, 26]. По нашему мнению, ближе всего такое объяснение соответствует сульфидным никелевым месторождениям, связанным с перидотитовыми коматититами. Для всего прочего разнообразия месторождений этой рудной формации мантийные сульфидные расплавы остаются, очевидно, на глубине и служат для них лишь источником паров серы наряду с серой ювенильных флюидов в составе сероводорода и серой, заимствованной магмой из коровых пород по ее пути вверх.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А л ь м у х а м е д о в А.И., М е д в е д е в А.Я. Геохимия серы в процессах эволюции магм. М., 1982. 146 с.
2. А р у т ю н я н Л.А., П е т р е н к о Г.В., М и т ю т и н Ю.К. О сульфуризации оливинитов в гидротермальных условиях и мобилизации никеля // Условия образования  $Cu-Ni$  руд (природные парагенезисы и эксперимент). Апатиты, 1978. С. 73-85.
3. В а с и л ь е в Ю.Р. Ультраосновной магматизм Сибирской платформы // Автореф. докт. дис. Новосибирск, 1983. 32 с.

4. Виноградов А.П. Средние содержания химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555-571.
5. Годлевский М.Н. Магматические месторождения // Генезис эндогенных рудных месторождений. М., 1968. С. 7-83.
6. Годлевский М.Н., Лихачев А.П. Условия зарождения и кристаллизации рудоносных магм, формирующих медно-никелевые месторождения // Основные параметры природных процессов эндогенного рудообразования. Т. 1. Новосибирск, 1979. С. 109-118.
7. Гриненко Л.Н. Источники серы базит-гипербазитовых пород и связанных с ними сульфидных руд. М., 1986. 37 с.
8. Золотухин В.В. Минералогия реакционных образований в рудах Норильска // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Т. 3. Новосибирск, 1965. С. 129-176.
9. Золотухин В.В. О природных процессах сульфуризации основных и ультраосновных пород // ДАН СССР. 1966. Т. 107, № 3. С. 665-668.
10. Золотухин В.В. О генезисе так называемых "ликвационных" медно-никелевых руд в свете новых данных // Геол. и геофиз. 1971. № 9. С. 12-22.
11. Золотухин В.В. О реликтах метасоматической зональности в сплошных сульфидных рудах Норильска и Талнаха // ДАН СССР. 1973. Т. 211, № 3. С. 678-684.
12. Золотухин В.В. Фторидные комплексные соединения как вероятные переносчики металлов и некоторые проблемы возникновения рудных формаций // Геол. и геофиз. 1974. № 12. С. 13-24.
13. Золотухин В.В. Типы окolorудных изменений в сплошных рудах Норильска и Талнаха и их генезис (по результатам изучения включений силикатов) // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Т. 8. Новосибирск, 1975. С. 178-216.
14. Золотухин В.В. Об ассоциации высокожелезистых метасоматических минералов в норильских рудах как окolorудных изменениях, имеющих важное поисковое значение // Материалы по генетической и экспериментальной минералогии. Т. 9. Новосибирск, 1976. С. 93-112.
15. Золотухин В.В. Такситовые габбро-долериты и габбро дифференцированных трапповых интрузий как результат магматической дегазификации // Материалы по петрологии и минералогии ультраосновных и основных пород. Новосибирск, 1978. С. 16-29.
16. Золотухин В.В., Васильев Ю.Р. Проблемы платформенного магматизма (на примере Сибирской платформы) // Магматические и метаморфические формации в истории Земли. Новосибирск, 1986. С. 180-184.
17. Золотухин В.В., Виленский А.М., Дюжиков О.А. Базальты Сибирской платформы. Новосибирск, 1986. 243 с.
18. Золотухин В.В., Лагута О.Н. О фракционировании магнезиальных базитовых расплавов и многообразии траппов на Сибирской платформе // ДАН СССР. 1985. Т. 280, № 4. С. 967-972.
19. Золотухин В.В., Малюк Б.И. О генезисе сульфидных медно-никелевых месторождений // Геол. и геофиз. 1985. № 10. С. 61-71.
20. Золотухин В.В., Рябов В.В., Васильев Ю.Р., Шатков В.А. Петрология Талнахской рудоносной дифференцированной интрузии. Новосибирск, 1975. 432 с.
21. Коржинский Д.С. Метамагматические процессы // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1973. № 12. С. 3-6.
22. Лурье М.Л., Масайтис В.Л., Полунина Л.А. Интрузивные траппы западной окраины Сибирской платформы // Петрография Восточной Сибири. Т. 1. М., 1983. С. 5-69.
23. Маракушев А.А., Фенюганов А.Н., Емельяненко П.Ф. и др. Генезис расслоенных интрузивов норильского типа // Вест. МГУ. Сер. 4. Геология. 1982. № 1. С. 3-19.
24. Роговер Г.Б. Месторождение Норильск 1. М., 1959. 168 с.
25. Kullerud G.A., Yoder H.S. Sulfide-silicate reactions and their bearing on ore formation under magmatic, postmagmatic and metamorphic conditions // Symposium problems of postmagmatic ore deposition. V. 2. Prague, 1965. P. 327-331.
26. Naldrett A.J., Cabri L.I. Ultramafic and related mafic rocks their classification and genesis with special reference to the concentration of nickel sulfides and platinum-group elements // Econ. Geol. 1976. Vol. 71. P. 1131-1158.
27. Nathan H.D., Van Kirk C.K. A model of magmatic crystallization // J. Petrology. 1978. Vol. 19, N 1. P. 66-94.

Л.Н. Гриненко

ИСТОЧНИКИ ВЕЩЕСТВА И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ  
СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД  
ПО ИЗОТОПНО-ГЕОХИМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Как известно, количество серы в магмах основного-ультраосновного состава определяет масштабы концентрирования в сульфидные фазы цветных металлов Ni, Co, Cu, которые при ее отсутствии или незначительном содержании рассеиваются в породообразующих силикатах. Экспериментальные исследования последних лет показали, что растворимость серы в базит-гипербазитовых расплавах

невелика и не превышает 0.1–0.15 % для первых и 0.3 % – для вторых [1, 8]. Обобщение данных по содержаниям серы в основных и ультраосновных породах показало, что в большинстве случаев они не превышают 0.05 % и только в никеленосных провинциях повышаются до нескольких десятых и целых процентов. Связь между содержаниями серы и петрохимическими характеристиками пород отсутствует [1, 3]. Все это ставит вопрос об источниках серы в базит–гипербазитах никеленосных провинций, выяснение которых, а также знание места, времени и форм вовлечения серы в рудный процесс может дать ценную информацию о генезисе месторождений медно–никелевой формации вообще и специфике образования крупных скоплений сульфидов промышленного значения.

Для решения названных проблем использован метод изотопного анализа серы руд и пород, причем для последних он проведен одновременно с определением содержания серы в одних и тех же пробах. Естественно, что этот метод может быть применен для получения информации о природе источников серы базит–гипербазитовых пород и связанных с ними руд при условии довольно однородного соотношения изотопов в верхней мантии и отсутствия существенного их фракционирования при выплавлении расплавов основного–ультраосновного состава и отделения сульфидной фазы.

Анализ данных по вариациям изотопного состава и содержания серы в безрудных базит–гипербазитах различных структурно–фациальных зон из разных районов мира, таких как океанические породы, включения в кимберлитах, коматииты, континентальные массивы, показал, что неомогенность верхней мантии в отношении изотопного состава серы, а также фракционирование ее изотопов при выплавлении магм этого состава не выходит за пределы узкого диапазона значений  $\delta^{34}\text{S} - \pm 2\text{‰}$  [3]. При образовании сульфидов из магмы или из высокотемпературных флюидов диапазон вариаций изотопного состава серы не должен превышать 2‰, а средние значения  $\delta^{34}\text{S}$  основной массы сульфидов отличаться от исходного расплава более чем на 1.5‰ [6, 7].

Таким образом, если сера базит–гипербазитовых пород и связанных с ними сульфидов имеет значения  $\delta^{34}\text{S}$  большие, чем  $\pm 2\text{‰}$ , то это, очевидно, свидетельствует о добавке серы из корового источника.

Рассмотрим распределение изотопов и содержания серы в породах и рудах конкретных никеленосных провинций.

В качестве главного модельного объекта, на котором изучались источники серы базит–гипербазитов и руд в связи с выяснением специфики формирования промышленного медно–никелевого оруденения выбрана никеленосная провинция северо–запада Сибирской платформы. Здесь широко распространены габбро–долеритовые интрузии различной степени рудоносности, от безрудных до промышленно–рудоносных, залегающие на разных уровнях стратиграфического разреза вмещающей толщи. Для последней характерно присутствие серосодержащих, гипс–ангидритовых пород, контрастно отличающихся по изотопному составу серы от серы глубинного мантийного происхождения.

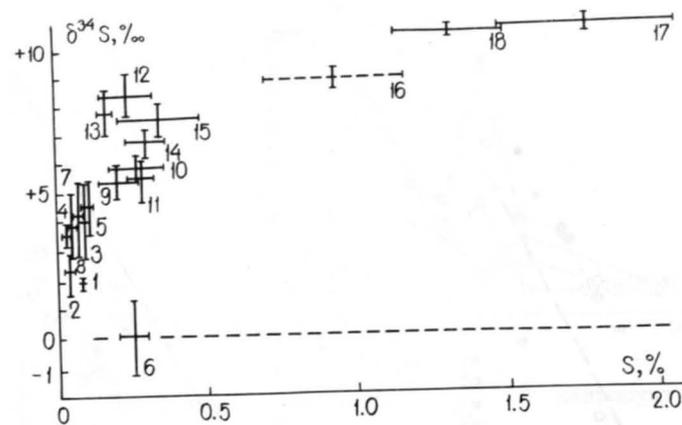


Рис. 1. Содержания и изотопный состав серы габбро–долеритовых интрузий северо–запада Сибирской платформы.

Отрезки линий – доверительные интервалы для средних содержания серы и  $\delta^{34}\text{S}$ . Интрузии: 1 – Ф–81, 2 – ПЕ–3, 3 – Ф–88, 4 – Далдыканская, 5 – Хюкта, 6 – 1–го порога р. Курейки, 7 – Путанная, 8 – Нижний–1, 9 – Накохозская, 10 – Пясино–Вологочанская, 11 – Мантуровская, 12 – Нижнеталнахская, 13 – Зеленая, 14 – Имангда, 15 – гора Черная, 16 – Норильск–1, 17 – Талнах, северо–восточная ветвь, 18 – Талнах, северо–западная ветвь.

Изучено распределение серы и ее изотопов по разрезам интрузий различных фаз внедрения, приуроченных к разным зонам разломов, залегающих среди пород, отличающихся по литологии, химизму, степени дифференциации и сульфидоносности. Средние значения изотопного состава и содержания серы показаны на рис. 1. Четко выделяются три группы интрузий: безрудные, сульфидоносные непродуктивные и продуктивные. Первые характеризуются низкими содержаниями серы и значениями  $\delta^{34}\text{S}$  (0.03–0.08 % и  $0 \div +4.5\text{‰}$  соответственно), вторые – повышенными значениями этих величин (0.2–0.3 % и  $+4.5 \div 9.0\text{‰}$ ) и третьи – наиболее высокими (1–2 % и  $+8.9 \div 10.5\text{‰}$ ), причем группы интрузий различаются также и по дисперсии этих величин.

Для безрудных и сульфидоносных непродуктивных интрузий устанавливается прямая корреляция между изотопным составом и содержаниями серы (рис. 2), свидетельствующая о том, что причиной повышения последних являлась добавка в породу коровой серы, обогащенной тяжелым изотопом. Источником такой серы могли быть гипсы и ангидриды осадочной толщи палеозоя, обогащенные  $^{34}\text{S}$  в среднем до 18‰. Это заключение подтверждается тем, что интрузии, залегающие непосредственно в сульфатоносных породах, обычно имеют более высокие содержания серы и более тяжелый

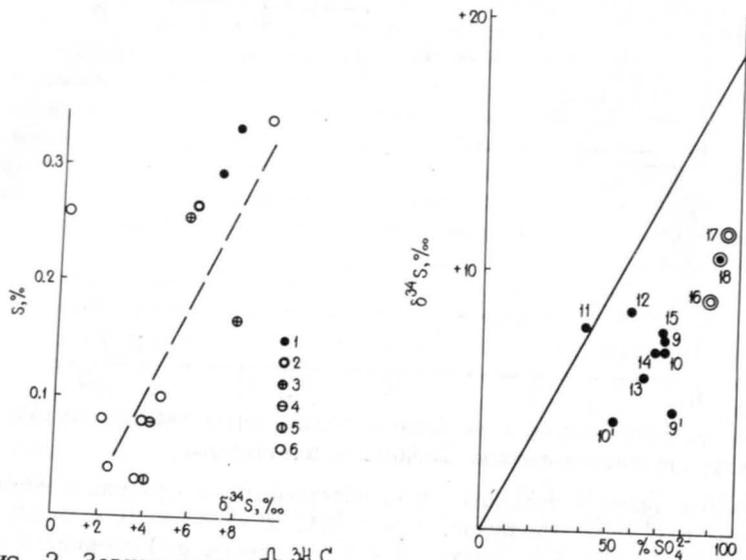


Рис. 2. Зависимость  $\delta^{34}\text{S}$  и содержаний серы в интрузиях северо-запада Сибирской платформы.

Типы интрузий: 1 - норильско-талнахский, 2 - нижнеталнахский, 3 - зубовский, 4 - курейский, 5 - моронговский, 6 - безрудные. Штрихами отмечены интрузии в сульфатоносных толщах.

Рис. 3. Положение средних значений  $\delta^{34}\text{S}$  интрузий по отношению к линии смешения сульфатной и ювенильной серы.

Номера интрузий те же, что и на рис. 1.

изотопный состав ее по сравнению с таковыми в толщах, лишенных прослоев сульфатов (рис. 2). Интрузии могли быть контаминированы и другими формами изотопно тяжелой серы и, в частности, сероводородом, скапливающимся в трещинно-поровых коллекторах непосредственно вмещающей толщи. На это указывает отклонение средних значений  $\delta^{34}\text{S}$  серы пород большинства сульфидоносных интрузий от линии смешения сульфатной и ювенильной серы (рис. 3).

Безрудные, сульфидоносные непродуктивные и продуктивные интрузии различаются также по характеру распределения изотопных отношений и содержаний серы по разрезам. Более детально этот вопрос рассмотрен ранее [2]. На рис. 4 показаны вариационные гистограммы изотопного состава серы промышленно-рудноносных интрузий в сравнении с некоторыми непродуктивными. В первых изотопный состав серы сульфидов и пород близок, во вторых - существенно отличается [2, 3].

Различия в изотопном составе, содержаниях серы, характере их распределения в разных типах интрузий, очевидно, отражают разную

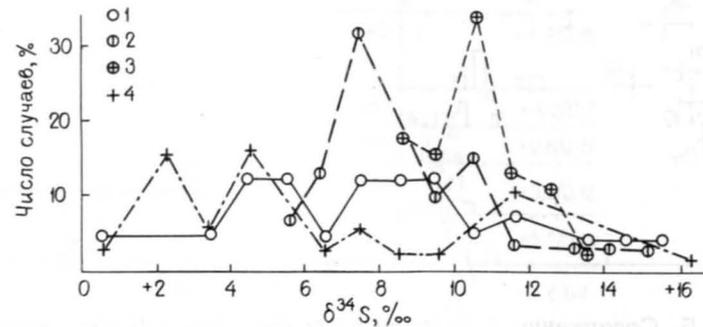


Рис. 4. Вариационные гистограммы  $\delta^{34}\text{S}$  непродуктивных и продуктивных интрузий.

1 - Мантуровская, 2 - Норильск-1, 3 - Талнахская, 4 - Пясинно-Вологодчанская.

степень контаминации их коровой серой, разные источники ее, место и время вовлечения в магму или породу, уровень гомогенизации с собственно магматической серой. Зависимость изотопного состава серы пород непродуктивных интрузий от литологии вмещающих толщ, а также невысокая степень его гомогенности указывают на то, что контаминация коровой серой происходила на месте современного их залегания. Для промышленно-рудноносных интрузий такие факты, как: 1) отсутствие зависимости изотопного состава серы от положения в стратиграфическом разрезе; 2) высокая степень гомогенности изотопных отношений серы; 3) близость их в массивах, приуроченных к одному и тому же рудному узлу (Верхнеталнахские интрузивы); 4) сходство изотопного состава серы пород и различных типов руд на месторождениях и, что особенно важно, значительное обогащение тяжелым изотопом серы сульфидов сплошных руд, образовавшихся на завершающих стадиях формирования месторождений; 5) высокие содержания серы в породах, в 5-10 раз превышающие таковые в безрудных и сульфидоносных непродуктивных интрузиях, а с учетом сплошных руд и больше, - свидетельствуют о том, что обогащение коровой серой произошло до занятия современной камеры в промежуточных магматических очагах.

Расчет изотопного состава контаминированной серы для интрузий Норильск-1 и Талнахских дает величины  $\delta^{34}\text{S}$  около +11 и +12‰ соответственно. Эта сера отличается от серы осадочных гипсов и ангидритов вмещающей толщи гораздо меньшим содержанием тяжелого изотопа. Кроме того, оценка изотопно-материального баланса показывает, что при допущении ассимиляции осадочных сульфатов для таких интрузий, повышение содержания кальция в магме привело бы к существенному изменению их химизма.

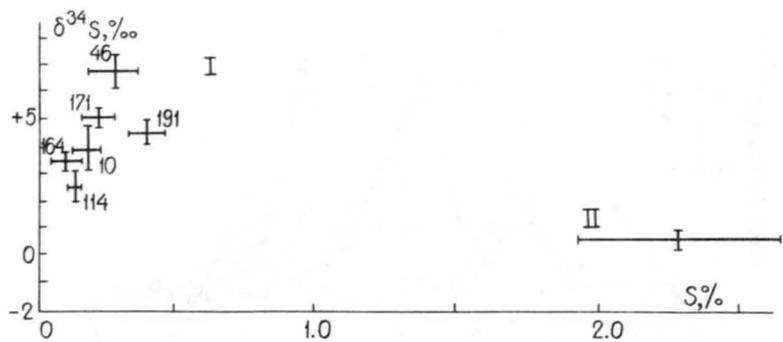


Рис. 5. Содержания и изотопный состав серы в базит-гипербазитовых интрузиях Печенгского рудного поля.

I – безрудные и непродуктивные интрузии, II – продуктивная интрузия. Отрезки линий – доверительные интервалы для средних значений.

О разных источниках, месте и времени сульфуризации коровой серы магмы сульфидоносных непродуктивных и продуктивных интрузий свидетельствуют и данные изотопного состава кислорода. Для первых проявляется тенденция корреляции величин  $\delta^{34}\text{S}$  и  $\delta^{18}\text{O}$ , для вторых она отсутствует. Изотопный состав водорода биотита ( $\delta^2\text{D} -116 \pm -130\text{‰}$ ) – породообразующего минерала продуктивных интрузий – также указывает на контаминацию магмы водородом корового происхождения [3].

Изложенные выше факты, а также особенности геологической обстановки региона, входящего в состав Тунгусской нефтегазоносной провинции, позволили сделать вывод, что магма промышленно-рудноносных интрузий была контаминирована сероводородом газовых скоплений в промежуточном очаге [2, 3]. Внедрившиеся в верхние горизонты земной коры порции магмы промышленно-рудноносных интрузий являлись по существу переносчиками сульфидной фазы, отделившейся на глубине при сульфуризации магмы промежуточного очага. Комплементарными промышленно-рудноносными являются, по нашему мнению, интрузии нижнеталнахского (нижненорильского) типа, магма которых обеднилась цветными металлами, железом и другими компонентами за счет связывания их в сульфидную фазу в промежуточном очаге. Этот вывод подтверждается также характером распределения изотопных отношений и содержаний серы по площади нижнеталнахских интрузий [3].

В другой никеленосной провинции СССР на северо-западе Кольского полуострова, в Печенгском рудном поле, также установлены различия в изотопном составе, содержаниях серы и характере распределения этих величин между безрудными и непродуктивными интрузиями, с одной стороны, и продуктивными – с другой (рис. 5). Для первых наблюдается прямая корреляция изотопного состава

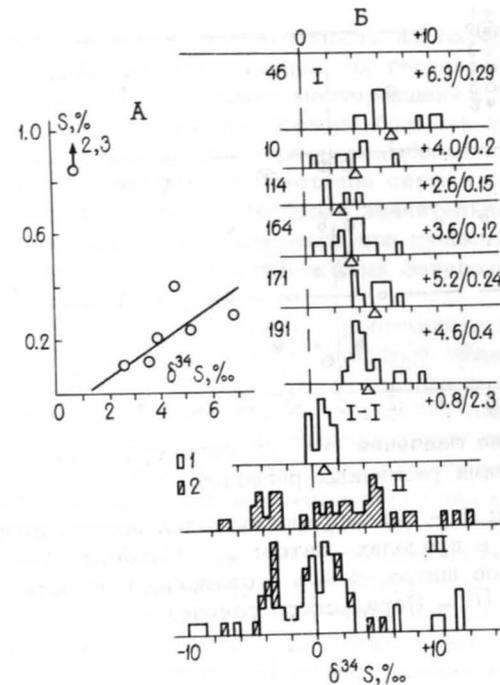


Рис. 6. Корреляция средних  $\delta^{34}\text{S}$  и содержаний серы в базит-гипербазитах Печенгского рудного поля (А и Б): изотопный состав серы интрузий (I и I-I), вмещающих их пород (II) и архейских образований (III). Цифры в числителе дроби – средние  $\delta^{34}\text{S}$ , в знаменателе – средние содержания серы. 1 – сера породы, 2 – сера сульфидов, I-I – продуктивная интрузия.

и содержаний серы, обусловленная, очевидно, привнесом изотопно-тяжелой коровой серы (рис. 6). Источником последней могли быть сульфидизированные углисто-глинистые сланцы вмещающей толщи печенгской серии, вариации изотопного состава серы которых перекрывают таковые для непродуктивных интрузий. Довольно широкий диапазон значений  $\delta^{34}\text{S}$  в таких интрузиях свидетельствует о невысокой степени гомогенизации контаминированной и собственно магматической серы на месте современного залегания. Промышленно-рудноносная интрузия отличается от безрудных и непродуктивных интрузий как по величинам изотопных отношений серы, так и по степени их гомогенности. Содержание серы в ней в 10–20 раз больше, чем во вторых. Сера непосредственно вмещающих пород не влияет на изотопный состав серы в этой интрузии, который сходен с таковым сульфидов руды (рис. 6).

Изложенные факты приводят к выводу, что обособление рудного вещества происходило в промежуточном очаге в связи с сульфур-

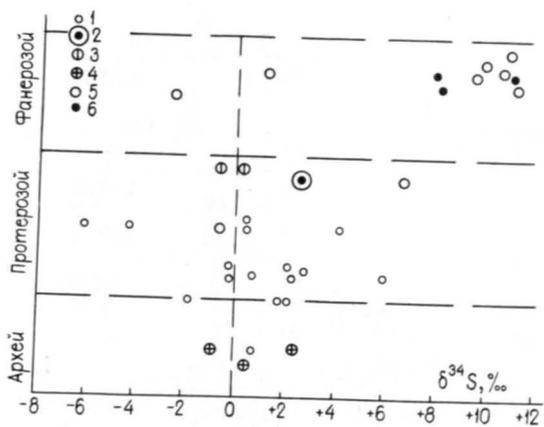


Рис. 7. Средние значения  $\delta^{34}\text{S}$  серы сульфидов медно-никелевых месторождений различных регионов.

Месторождения: 1 – докембрийских никеленосных провинций подвижных поясов в пределах щитов; 2 – Садбери, 3 – подвижных поясов вне пределов щитов, 4 – в ассоциации с коматитами, 5, 6 – древних платформ (6 – Норильского района).

зацией магмы концентрированной серосодержащей фазой. Источником последней могли являться скопления пирит-пирротинового состава, локально распространенные в древних толщах, что подтверждается изотопией их серы (рис. 6), хотя не исключены и другие источники.

Различия в изотопном составе и содержаниях серы выявлены также между рудоносными норит-диоритовыми массивами, с одной стороны, и безрудными и непродуктивными интрузиями – с другой, в никеленосной провинции Воронежского кристаллического массива [5].

Обобщение известных данных по изотопии серы базит-гипербазитов из различных регионов мира показало, что, несмотря на широкий диапазон вариаций изотопного состава серы в целом – от  $-12$  до  $+22\text{‰}$ , основная масса значений  $\delta^{34}\text{S}$  группируется около нулевого значения, что, очевидно, свидетельствует о преимущественно мантийном источнике серы для большинства таких пород. Относительное преобладание пород с изотопно-тяжелой серой служит одним из общих подтверждений широкого проявления контаминации коровой серой базит-гипербазитов, поскольку наиболее концентрированные ее источники в коре, такие как сульфаты эвапоритов, сероводород газовых залежей, массивные сульфидные руды обычно обогащены довольно значительно тяжелым изотопом серы [4].

Средние значения изотопного состава серы сульфидов медно-никелевых месторождений из различных районов мира приведены на рис. 7. Они изменяются в широком диапазоне – от  $-6$  до  $+11\text{‰}$ .

Не наблюдается определенной зависимости изотопного состава серы сульфидов от возраста месторождений, их геотектонической позиции, состава оруденелых пород. Однако месторождения, более молодые, чем архейские, характеризуются гораздо большей дисперсией изотопного состава, что является отражением более полно проявленных процессов фракционирования изотопов серы в земной коре в позднее геологическое время. Наиболее значительные отличия изотопного состава серы от метеоритного при существенном обогащении  $^{34}\text{S}$  отмечаются для платформенных фанерозойских и верхнепротерозойских месторождений.

Таким образом, хотя сульфидные медно-никелевые месторождения во всех регионах мира обладают многими общими чертами, такими как приуроченность к близким по химизму базит-гипербазитам верхнемантийного происхождения, сходство минерального состава руд и их типов и др., сера их по изотопному составу отличалась в разных никеленосных провинциях, что свидетельствует об участии в формировании этих высокотемпературных руд коровой серы. Сульфуризация магмы коровой серой на месте залегания интрузива не приводит к образованию промышленных месторождений сульфидных медно-никелевых руд. Для образования их необходимо сочетание определенных условий геологической обстановки: 1) внедрение значительных по объему масс магнезиальной никеленосной базит-гипербазитовой магмы; 2) существование мощной коровой толши с наличием в ней концентрированного серосодержащего материала; 3) образование значительных по размерам промежуточных очагов базит-гипербазитовой магмы, где происходила сульфуризация последней концентрированной серосодержащей фазой; 4) отделение из промежуточного очага порций рудно-силикатной магмы в более высокие горизонты земной коры. Поскольку указанные условия редко реализуются совместно, это, по нашему мнению, является причиной уникальности образования крупных месторождений сульфидных медно-никелевых руд и их ограниченного развития, несмотря на широкое распространение базит-гипербазитового магматизма.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А л ь м у х а м е д о в А.И., М е д в е д е в А.Я. Геохимия серы в процессе эволюции основных магм. М., 1982. 148 с.
2. Г р и н е н к о Л.Н. Источники серы никеленосных и безрудных интрузий габбро-долеритов на северо-западе Сибирской платформы // Геология рудных месторождений. 1985. № 1. С. 3–15.
3. Г р и н е н к о Л.Н. Источники серы базит-гипербазитовых пород и связанных с ними сульфидных медно-никелевых руд // Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. М., 1986. 37 с.
4. Г р и н е н к о В.А., Г р и н е н к о Л.Н. Геохимия изотопов серы. М., 1974. 274 с.

5. Гриненко Л.Н., Чернышов Н.М. Особенности формирования сульфидного никелевого оруденения в норит-диоритовых интрузивах Воронежского кристаллического массива (по данным изотопного анализа серы) // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока. Апатиты, 1988. С. 7-10.

6. Омото Х., Рай Р.О. Изотопы серы и углерода // Геохимия гидротермальных рудных месторождений. М., 1982. С. 404-450.

7. Sakai H. Isotopic properties of sulfur compounds in hydrothermal processes // Geochim. J. 1968. Vol. 2, N 1. P. 29-49.

8. Shima H., Naldrett A.J. Solubility of sulfur in an ultramafic melt and the relevance of the system Fe-S-O // Econ. Geol. 1975. Vol. 70, N 5. P. 960-967.

Л.А. Арутюнян, Г.В. Петренко,  
Г.О. Саргсян

#### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ГЕОХИМИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО РУДОГЕНЕЗА В СВЕТЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

В последние два десятилетия получен ряд важных экспериментальных данных в области геохимии Cu-Ni рудогенеза, в результате которых появились и уже достаточно широко используются возможности количественного обоснования отдельных параметров рудного процесса. В настоящем сообщении мы рассмотрим некоторые примеры реализации этих возможностей в приложении к вопросам фракционирования никеля и поведения рудных фаз на различных этапах эволюции магматической рудогенной системы.

**Фракционирование никеля.** Опорным материалом при обсуждении фракционирования рудных элементов при кристаллизации магматических расплавов служат данные, описывающие их распределение между сосуществующими фазами силикатных и сульфидно-силикатных систем в зависимости от параметров последних и прежде всего - от магнезиальности равновесного с кристаллами расплава как важнейшего петрохимического показателя, позволяющего через оценки баланса жидкой и кристаллических фаз описывать фракционирующую базитовую систему.

Экспериментальные данные, характеризующие распределение Ni между оливином и расплавом в силикатных системах в зависимости от содержания MgO в равновесной жидкости, приведены на рис.1. Распределение описано на графике концентрационными коэффициентами распределения  $K_{Ni}^{ol/liq} = C_{Ni}^{ol} / C_{Ni}^{liq}$ , представляющими отношение весовых концентраций Ni в оливине и сосуществующем с ним

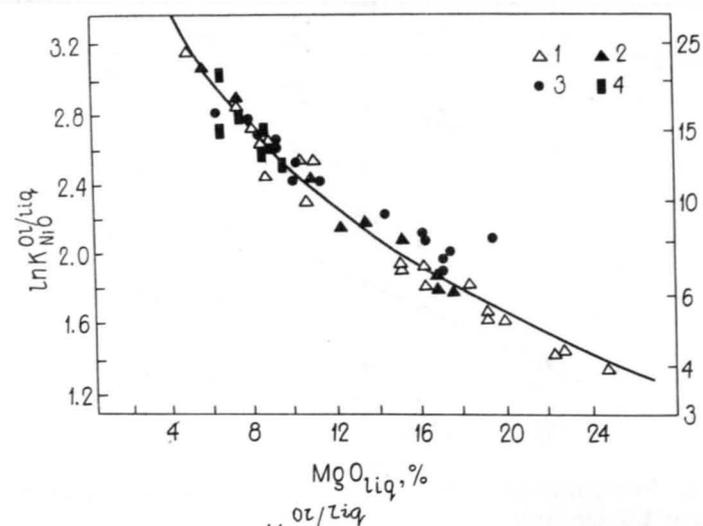


Рис. 1. Зависимость  $K_{Ni}^{ol/liq}$  в базитовых системах от магнезиальности расплава.

1 - Fo-An-SiO<sub>2</sub> [17]; 2 - Fo-Ab-An, базальты [19];  
3 - Fo-Di-Ab-An, Fo-Ab [6]; 4 - природные базиты [20].

расплаве. Выражаемая указанным коэффициентом степень обогащения никелем оливина относительно расплава, как показывает экспериментальный материал, энергично повышается с понижением содержания MgO в силикатной жидкости. Так, абсолютные величины  $K_{Ni}^{ol/liq}$ , полученные при температурах 1200-1400° для составов, близких по валовому химизму к дифференциатам пильгуньярвинского никеленосного комплекса на Печенге, возрастают от 8 до 18 при понижении содержания MgO в сосуществующем расплаве от 17 до 8 мас. % [6]. Совокупность экспериментальных данных, количественно характеризующих связь  $K_{Ni}^{ol/liq}$  с магнезиальностью расплавов в различных базальтовых системах, как видно из рис. 1, в целом хорошо удовлетворяют зависимости, выявленной Хартом и Дэвисом [17] в системе Fo-An-SiO<sub>2</sub> и описываемой уравнением  $K_{Ni}^{ol/liq} = 124.13 / MgO_{liq} - 0.897$  [1].

Приведенные выше данные характеризуют недосыщенные серой базитовые расплавы. Условия насыщения их серой, определяющие возможность обособления в них несмешиваемой сульфидной фазы, изучались в ряде специальных работ, в результате которых сейчас известна предельная растворимость серы в „сухих“ расплавах основного-ультраосновного состава (не превышающая, как оказалось, величин порядка 0.1-0.3 мас. % в широком диапазоне условий) и в количественных выражениях сформулированы зависимости растворимости от параметров расплавов, в том числе и от их магнезиальности [1, 16, 23 и др.]. В сульфидно-силикатных системах

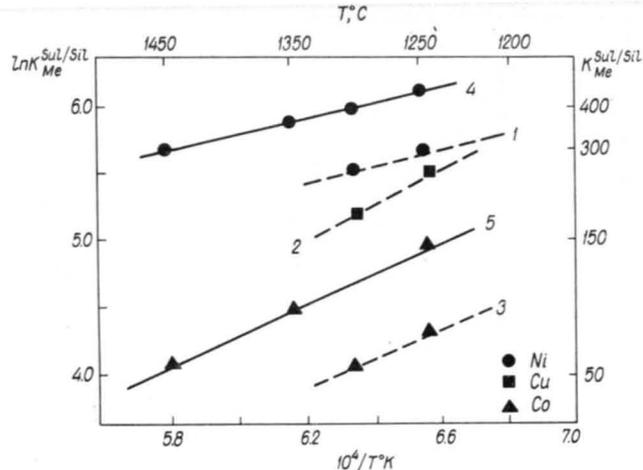


Рис. 2. Распределение Ni, Cu и Co между сульфидным и силикатным расплавами.

1-3 - базальты [21], 4-5 - Fo-Di-Ab-An-FeS [12].

поведение Ni, Cu, Co определяется резко выраженным концентрированием их в сульфидной фазе, как это видно по абсолютным величинам  $K_{Me}^{sul/sil}$  на рис. 2; величины  $K_{Me}^{sul/sil}$ , полученные, например, для пильгуярвинских составов с участием сульфида железа, варьируют в пределах 330-420, закономерно возрастают с понижением магнезиальности силикатной составляющей и температуры [12].

Используя комплекс экспериментально установленных зависимостей коэффициентов распределения  $K_{Ni}^{ot, sul/sil}$  и растворимости серы от магнезиальности расплавов, а также известные данные П. Реддера и Р. Эмсли [22] по распределению Mg-Fe между оливином и расплавом в базальтовой системе, мы на основе балансных соотношений, связывающих эти данные в рамках единой системы, рассчитали модель фракционирования Ni при кристаллизации расплава, по содержаниям MgO, FeO, NiO (и S) отвечающего вычисленному В.Ф. Смолькиным [13] составу родоначальной магмы пильгуярвинского никеленосного комплекса.

Графическое изображение полученных результатов приведено на рис. 3. Важнейшей особенностью кристаллизации из чисто силикатного расплава является быстрое падение никеленосности оливина после начала кристаллизации - почти вдвое после выделения уже первых 10% кристаллов. Это отражается в крутом наклоне кривой зависимости никеленосности оливина от его магнезиальности (кривая 1). В случае присутствия в системе серы в количестве, превышающем ее растворимость в данных условиях, ее избыток изначально находится в виде сегрегированной сульфидной фазы. Кри-

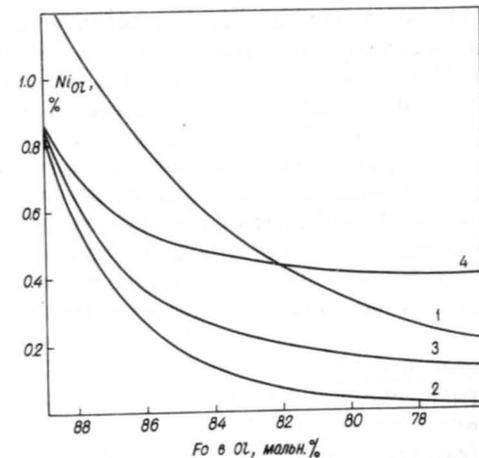


Рис. 3. Зависимость концентраций Ni от форстеритового компонента в оливинах, кристаллизующихся по фракционной схеме в силикатной системе (1) и в сульфидно-силикатной (2 - с полной отсадкой сульфида, 3 - с 50%-ной отсадкой и 4 - без отсадки сульфида).

сталлизация оливина сопровождается понижением магнезиальности расплава и, соответственно, растворимости в нем серы, что приводит к обособлению новых порций избыточного сульфида. Никеленосность оливинов в такой системе, кристаллизующейся с одновременным выделением и отсадкой оливина и сульфида, понижена по сравнению с оливинами чисто силикатных систем (кривая 2). В то же время расчет фракционирования с учетом возможности удержания части ликвирующего сульфида в расплаве в виде взвеси показывает, что уровень никеленосности оливинов в этом случае повышается по мере увеличения количества сульфидной взвеси. Кривые зависимости никеленосности оливинов от их магнезиальности принимают при этом значительно более пологий характер по сравнению с бессульфидной системой и указывают даже на возможность реализации в определенных условиях аномальной зависимости, т.е. более высокой никеленосности поздних, более железистых оливинов. Повышение содержаний Ni в более железистых оливинах поздних этапов кристаллизации установлено, в частности, в сульфидоносных горизонтах расслоенных трапповых интрузий в противоположность бессульфидным их горизонтам [7].

В связи с изложенным здесь отметим, что понижению общего уровня никеленосности оливинов при кристаллизации их в присутствии сульфида придается особое значение в разрабатываемых в последнее время моделях кристаллизации коматитовых систем [9]. Эта особенность рассматривается как признак имевших место сульфидно-силикатных равновесий и предлагается в качестве критерия

перспективности интрузий на  $Cu-Ni$  оруденение. О неоднозначности такого критерия свидетельствуют, однако, многочисленные данные по составам оливинов из рудоносных и безрудных массивов [7, 15, 24] и др. Фракционирование с неполной отсадкой сульфида определяет, как видим, более сложный характер контроля уровня никеленосности оливинов. Отражение такого фракционирования следует ожидать в виде пологого характера связи никеленосности оливинов с их магнезиальностью и относительной стабильности уровня никеленосности на поздних этапах по сравнению с оливинами безрудных массивов, что может представлять интерес при разработке критериев перспективности базитовых массивов на сульфидное оруденение.

Образование рудной эмульсии и ее поведение. Следующая группа вопросов, затрагиваемых в нашем сообщении, связана с физико-механическими параметрами магматического рудогенеза, которые характеризуют механизм образования сульфидной рудной эмульсии и особенности ее поведения, подвижность рудного расплава и т.д. Эти вопросы относятся к наименее изученным, и можно указать лишь на единичные работы (например, [10]), в которых они рассматривались в основном на качественном уровне. Кратко остановимся на некоторых результатах в этой области, полученных нами при изучении поверхностных свойств сульфидно-силикатных систем.

Одним из положений концепции магматического  $Cu-Ni$  рудогенеза с мантийным источником сульфидов, как известно, является изначально диспергированное состояние рудной фазы в расплаве, образующемся при выплавлении сульфидосодержащего мантийного субстрата. В условиях более раннего плавления сульфидов опорным материалом для обсуждения механизма их диспергирования при отсутствии данных о двугранных углах смачивания могут служить оценки предельных условий смачивания расплавом внешних поверхностей породы, т.е. значений краевых углов, отвечающих различным соотношениям величин энергий границ раздела фаз в системе „сульфидный расплав-кристаллический силикат“. С учетом имеющихся данных по энергиям поверхностного натяжения контактирующих фаз это позволяет оценить вероятность реализации той или иной схемы поведения сульфидного расплава в объеме кристаллической породы – пленочное растекание по границам силикатных зерен или стягивание в капли на стыках кристаллов.

В табл. 1 приведены измеренные нами методом лежащей капли величины краевых углов смачивания при  $1250^\circ$  поверхностей различных пород сульфидным расплавом, отвечающим по химизму цементу брекчиевидных руд месторождения Заполярное на Печенге. Как видим, смачиваемость возрастает от пироксенитов к филлитам, отвечая соответственно уменьшению угла  $\theta$  от  $95$  до  $46^\circ$ .

Полученные высокие значения  $\theta$  свидетельствуют о том, что поверхностная энергия силикатных фаз при контакте их с сульфидным расплавом не снижается либо снижается незначительно. В связи с этим, как показывает соответствующий анализ [14], при плавлении сульфидной фазы в объеме породы практически исключена

Т а б л и ц а 1

Краевые углы смачивания сульфидным расплавом различных поверхностей

Подложка	$\theta^\circ$	Подложка	$\theta^\circ$
Графит	135-150	Пироксенит	86-95
Кварц	116-120	Оливинит	71-83
Алунд	87-107	Филлиты	46-68

вероятность существования жидкости в виде межзеренной пленки; ее поведение будет определяться скорее тенденцией к стягиванию в капли на стыках зерен с последующим переходом капель в магматический расплав в виде сульфидной эмульсии при плавлении силикатного субстрата.

Поведение образовавшейся рудной эмульсии определяется соотношениями плотности, вязкости и поверхностных свойств сульфидной и силикатной фаз. Плотность и вязкость их хорошо изучены в широком диапазоне условий. Экспериментально измеренное в системе „пильгуярвинское габбро-пирротин“ при  $1250^\circ$  межфазное натяжение на границе раздела фаз „жидкий сульфид-жидкий силикат“ оказалось довольно высоким – в пределах  $160-190$  эрг/см<sup>2</sup> при поверхностном натяжении сульфидного расплава в  $330$  эрг/см<sup>2</sup> [11].

В связи с высокими энергиями поверхностей раздела в таких системах должны самопроизвольно идти процессы коалесценции и изотермической перегонки, ведущие к укрупнению эмульсионных частиц и, соответственно, понижающие общую избыточную поверхностную энергию системы. Ограниченные минимумом наиболее обобщенных допущений расчеты при сопоставлении с имеющимися данными о высоких скоростях прямого подъема магм (на уровне десятков метров в час) приводят к выводам о том, что гравитационная отсадка, коалесценция и изотермическая перегонка не могли существенно отразиться на размерах сульфидных частиц и их способности к транспортировке магматическим расплавом в процессе его подъема с глубин  $70-100$  км и что серьезная по масштабам дифференциация рудогенной системы, в пределе – с образованием самостоятельных объемов рудосульфидного расплава, могла осуществиться лишь в промежуточных очагах или в камере внедрения. Подкрепленные экспериментом оценки вероятных скоростей заполнения рудным сульфидным расплавом трещин (шириной  $0.1-10$  см и длиной  $1-100$  м) в кристаллических породах дают величины порядка метра в минуту [14], что говорит о принципиальной возможности реализации предполагаемого инъекционного механизма образования хорошо известных „отщепленных“ рудных тел на некоторых магматических  $Cu-Ni$  месторождениях.

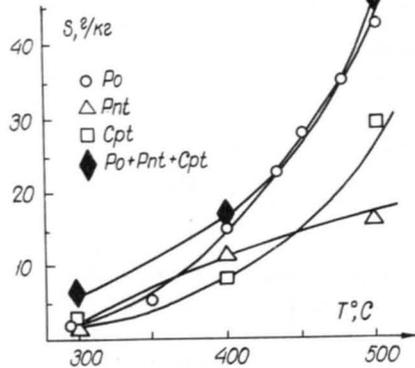


Рис. 4. Растворимость сульфидов  $Cu-Ni$  руд в растворе  $NH_4Cl$  (1.87 M) в зависимости от температуры при  $P=800$  атм.

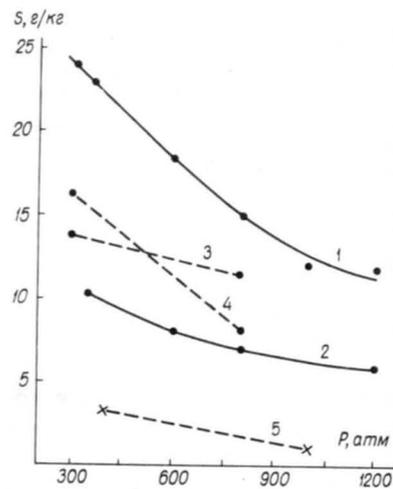


Рис. 5. Зависимость растворимости сульфидов  $Cu-Ni$  руд от давления.

1, 2 -  $Po$ , растворы  $NH_4Cl$  и  $MgCl_2$  соответственно; 3 -  $Cpt$ ; 4 -  $Pnt$ , растворы  $NH_4Cl$  [3]; 5 -  $Po$ , раствор  $NaCl + HCl$  [18].

#### Гидротермально-метаморфические преобразования $Cu-Ni$ руд.

Опорный экспериментальный материал в этой области представляют результаты исследований растворимости ведущих рудных минералов и изменений фазового состава и химизма сульфидных ассоциаций в процессах их гидротермальной переработки и переотложения.

Изучение растворимости пирротина, пентландита и халькопирита в хлоридных растворах показало [2, 3] прежде всего, что их растворимость увеличивается с возрастанием температуры и, что несколько необычно, с понижением давления (рис. 4, 5).<sup>1</sup> Другой важнейшей особенностью растворения пентландита и халькопирита является ее инконгруэнтный характер, выражающийся в преимущественном переходе в раствор железа, с обогащением остаточной

<sup>1</sup> Обратная связь растворимости с давлением была установлена также при растворении пирита, сфалерита и молибденита [3], выявлена недавно и для случая совместной растворимости пирротина, галенита и сфалерита [18], что подкрепляет сформулированный в предыдущей работе вывод о вероятном общем характере такого влияния давления на растворимость сульфидов тяжелых металлов.

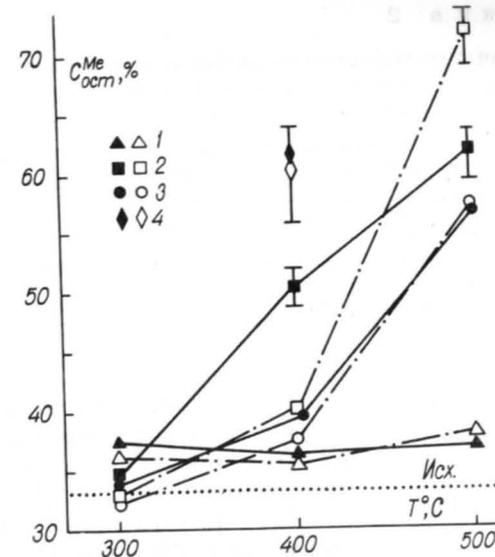


Рис. 6. Содержания  $Ni$  (темные знаки) и  $Cu$  (светлые знаки) в конечной твердой фазе при растворении пентландита и халькопирита.

Растворы: 1 -  $HCl$ , 2 -  $NH_4Cl$ , 3 -  $MgCl_2$ , давление 800 атм; 4 -  $NH_4Cl$ , давление 300 атм.

фазы никелем и медью до 60-70 %, как это видно на рис. 6, вплоть до образования новых, богатых ими фаз - миллерита и борнита. Степень обогащения растет с повышением температуры и давления, при более интенсивном переходе в раствор меди по сравнению с никелем; параллельно в остаточной фазе растет отношение  $\Sigma Me/S$ .

Таким образом, при обсуждении геохимии гидротермального метаморфизма и переотложения сульфидных  $Cu-Ni$  руд следует считаться с противоположным знаком зависимости растворимости сульфидов от температуры и давления и инконгруэнтным характером растворения ведущих рудных фаз. Направленность гидротермального процесса в этих системах - отложение сульфида из раствора или растворение содержащихся во вмещающих породах первично-магматических сульфидов - будет определяться, очевидно, соотношениями градиентов температуры и давления в данной системе. Из сопоставления экспериментально найденных зависимостей растворимости сульфидов  $Cu-Ni$  руд от температуры и давления с имеющимися в литературе данными по геобарическому и геотермическому градиентам следует вывод о том, что наиболее благоприятные параметры для перемещения растворенного рудного вещества на большие расстояния реализуются прежде всего в условиях гидротермаль-

Таблица 2

Усредненные коэффициенты мобилизации элементов при гидротермальной обработке Cu-Ni руд

T, °C	Коэффициент мобилизации			
	Cu	Co	Ni	Fe
300	0.49	0.23	0.17	0.11
400	0.54	0.18	0.13	0.14
500	0.76	0.20	0.1	0.63

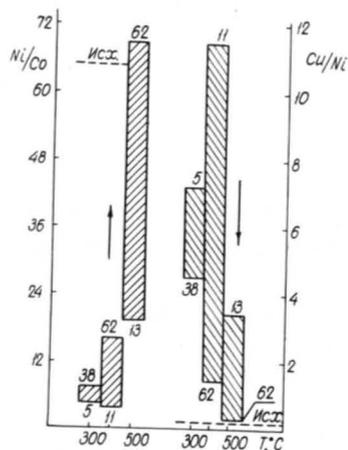


Рис. 7. Вариации отношений Ni/Co и Cu/Ni в продуктах гидротермального переотложения аллареченской медно-никелевой руды (растворы  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и  $\text{MgCl}_2$ ). В верхней и нижней частях колонок указано количество переотложенного материала (в процентах от общей навески).

но-метаморфической системы, характеризующейся близким к адиабатическому температурным градиентом.

Экспериментальный материал, описывающий поведение отдельных элементов Cu-Ni руд, включая при-

месные, представлен значительным объемом данных, полученных при сопоставлении химизма исходных и конечных фаз из опытов по гидротермальной проработке „на месте” и переотложению сульфидных Cu-Ni ассоциаций в широком диапазоне условий [4, 5, 8]. Указанный материал, подкрепленный данными опытов с синтетическими пирротиновыми твердыми растворами, дает возможность оценки на основе балансных расчетов относительной подвижности элементов руд по степени обогащения ими водной фазы относительно твердых фаз и системы в целом; рассчитанные коэффициенты мобилизации наиболее полно охарактеризованных элементов руд приведены в табл. 2. Совокупность имеющихся данных в целом указывает на последовательное уменьшение подвижности в рядах Mn-Zn-Cu-Co-Ni и Te-Se при „плавающем” положении Fe.

Установленные особенности растворимости рудных фаз и различий в „подвижностях” элементов показывают, что в гидротермальной обстановке элементы выносятся из руд (и переотлагаются) в различных соотношениях, в сложной зависимости от варьирующих в системе температуры, давления, стадии переотложения и т. д. Это предопределяет соответственно широкие возможности вариаций

отношений элементов в конечных продуктах динамичной по природе метаморфической системы, четко реализуемые, как показывают имеющиеся данные, уже в достаточно узком диапазоне экспериментальных условий (рис. 7). Сопоставление с более „жестко” фиксированными в этом отношении условиями магматической рудной системы позволяет выделить геохимические признаки отличия первично-магматических руд от метаморфических, основанные на относительной выдержанности величин коэффициентов вариаций Ni/Co, Cu/Ni, Se/Te и других отношений в первых и значительных их колебаниях — во вторых. Этот критерий подтверждается результатами статистической обработки аналитического материала по кольским Cu-Ni рудам, по комплексу других независимых признаков, относимых к тому или другому типу; дополнительным критерием может служить высокая степень „очистки” от Mn сульфидов метаморфизованных ассоциаций.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альмухамедов А.И., Медведев А.Я. Геохимия серы в процессах эволюции основных магм. М., 1982. 148 с.
2. Арутюнян Л.А., Малинин С.Д., Петренко Г.В. Растворимость пирротина в хлоридных растворах при повышенных температурах и давлениях // Геохимия. 1984а. № 7. С. 1029-1040.
3. Арутюнян Л.А., Малинин С.Д., Петренко Г.В., Хитаров Н.И. О влиянии давления на растворимость сульфидов тяжелых металлов в водных растворах электролитов при высоких температурах // Докл. АН СССР. 1984б. Т. 276, № 1. С. 235-238.
4. Арутюнян Л.А., Петренко Г.В., Балабоин Н.Л. О поведении главных рудогенных и сопутствующих им элементов сульфидных медно-никелевых руд при их гидротермальном переотложении (по экспериментальным данным) // Геохимия. 1980. № 6. С. 798-808.
5. Арутюнян Л.А., Петренко Г.В., Балабоин Н.Л. О поведении Se и Te при гидротермальном переотложении Cu-Ni сульфидной руды // Геохимия. 1982. № 5. С. 685-690.
6. Арутюнян Л.А., Саргсян Г.О. Распределение Ni, Co и Mn между фазами в системах  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$ - $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  и  $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$  -  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$  -  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$  -  $\text{CaAlSi}_2\text{O}_6$  (по экспериментальным данным) // Геохимия. 1982. № 7. С. 971-984.
7. Дистлер В.В., Гроховская Т.Л., Лапутина И.П., Муравецкая Г.И. Поведение никеля при кристаллизации сульфидсодержащих базальтовых магм // Геохимия процессов миграции рудных элементов. М., 1977. С. 53-67.
8. Лихачев А.П. О переотложении сульфидных Cu-Ni руд в гидротермальных условиях // Зап. ВМО. 1974. № 6. С. 655-669.

9. Н а л д р е т т А.Д. Сульфидные никелевые месторождения: классификация, состав и генезис // Генезис рудных месторождений. Т. 2. М., 1984. С. 253-343.
10. О л ь ш а н с к и й Я.И. О большой текучести сульфидных расплавов и возможном геологическом значении этого явления // Докл. АН СССР. 1948. Т. 63, № 2. С. 187-190.
11. С а л ь н и к о в Д.И., Т р а с к и н В.Ю., П е р ц о в Н.В., А р у т ю н я н Л.А. Проявление эффекта Ребиндора в сульфидно-силикатных системах // Докл. АН УССР. 1984. № 8. С. 54-58.
12. С а р г с я н Г.О. Распределение Ni, Co, Mn между сульфидным и силикатным расплавами // Геохимия. 1985. № 6. С. 796-801.
13. С м о л ь к и н В.Ф. Петрология Пильгуярвинского рудного интрузива (Печенга). Апатиты, 1977. 260 с. (Депон. рукоп., № 2114-77).
14. Т р а с к и н В.Ю., А р у т ю н я н Л.А., С а в ч е н к о А.Н., Н е р а д о в с к и й Ю.Н. Осмачивающей способности и подвижности сульфидных расплавов // Геохимия. 1988. № 3. С. 418-424.
15. Я к о в л е в Ю.Н., Я к о в л е в а А.К., Н е р а д о в с к и й Ю.Н., О с о к и н А.С., Б а л а б о н и н Н.Л., Д о к у ч а е в а В.С., О р с о е в Д.А., Д и с т л е р В.В., Ф и л и м о н о в а А.А. Минералогия медно-никелевых месторождений Кольского полуострова. Л., 1981. 352 с.
16. D u k e J.M., N a l d r e t t A.J. A numerical model of the fractionation of olivine and molten sulfide from komatiite magma // Plan. Sci. Let. 1978. Vol. 39. P. 255-266.
17. H a r t S., D e v i s K. Nickel partitioning between olivine and silicate melt // Plan. Sci. Let. 1978. Vol. 40. P. 203-219.
18. H e m l e y J.J., C y g a n C.L., D' A n g e l o M.M. Effekt of pressure on ore mineral solubilities under hydrothermal conditions // Geology. 1986. Vol. 14, N 5. P. 377-380.
19. L e e m a n W.P., L i n d s t r o m D.J., Partitioning of Ni<sup>2+</sup> between basaltic and synthetic melts and olivine: an experimental study // Geoch. Cosm. Acta. 1978. Vol. 42, 6a. P. 801-816.
20. L e e m a n W.P., S c h e i d e g g e r K.F. Olivine / liquide coefficients and a test for crystal-liquid equilibrium // Plan. Sci. Let. 1977. Vol. 35. P. 247-257.
21. R a j a m a n i V., N a l d r e t t A.J. Partitioning of Fe, Co, Ni and Cu between sulfide liquid and basaltic melts and the composition of Ni-Cu sulfide deposits // Econ. Geol. 1978. Vol. 73, N 1. P. 82-93.
22. R o e d e r P.L., E m s l i e R.F. Olivine-liquid equilibrium // Contr. Miner. Petrol. 1970. Vol. 29. P. 275-289.
23. S h i m a H., N a l d r e t t A.J. Solubility of sulfur in an ultramafic melt and the relevance of the system Fe-S-O // Econ. Geol. 1975. Vol. 70, N 5. P. 960-967.
24. S i m p k i n T., S m i t h J.V. Minor element distribution in olivine // J. Geol. 1970. Vol. 78. P. 304-325.

А.В. Чекунов, Ю.П. Оровецкий,  
С.В. Нечаев

#### ГЛУБИННЫЙ МАГМАТИЧЕСКИЙ ДИАПИРИЗМ И ПОИСКИ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Мантийные дифференциаты, создающие земную кору, поступают в нее главным образом в виде крупных астенолитов или магматических диапиров преимущественно ультрабазитового и базальтового состава. Их генерация происходит в астеносфере или в отдельных астенопинзах при определенных термодинамических параметрах. При движении вверх мантийный материал использует ранее существовавшие ослабленные зоны, в изобилии создавая при этом новые, кардинально преобразующие строение литосферы: в апикальной части — структуры деструктивного типа, разломы, рассредоточенную трещиноватость с сопутствующим им оруденением; по периферии — структуры сжатия и отжимания вмещающего субстрата.

Анализ данных глубинной геофизики, полученных в большом количестве на Украине, в сопоставлении с материалами по другим регионам мира, позволил определить форму, размеры и геотектоническую позицию рассматриваемых тел. По совокупности признаков с использованием, в частности, нового способа статистической фильтрации сейсмических данных в литосфере выделены свойственные магматическим диапирам транскоровые геофизические аномалии. Они характеризуются увеличением количества точек обмена сейсмических волн, отрицательными аномалиями силы тяжести и положительными аномалиями палеотемператур. В позднефанерозойских областях им соответствуют также повышенные тепловые потоки, отрицательно направленные современные вертикальные движения и коровая сейсмичность. Магматические диапиры прослежены до глубин порядка 70 км. Обычно они имеют форму перевернутой, уплощенной сверху, капли с диаметром, уменьшающимся с глубиной до 200 до 10-60 км. Для некоторых магматических диапиров отмечена их пространственная и, очевидно, генетическая связь с пологими тектоническими зонами, разделяющими отдельные чешуеподобные пластины литосферы. Такие диапиры располагаются в верхней

пластине, их форма ориентированно асимметрична, корни размещены в подстилающей разломной зоне, уходящей в свою очередь в мантию.

Со всеми трансоровыми магматическими диапирами, как древними, так и молодыми, связаны интенсивные проявления магматизма и метаморфизма в разных фациях. На Украинском щите с Волыньским, Подольским и Кировоградским диапирами связана довольно богатая сульфидная медно-никелевая минерализация. На северо-западе Сибирской платформы в пределах Норильской структуры эксплуатируются богатейшие сульфидные медно-никелевые месторождения. В этом же регионе выделена Дюкунская трансоровая геофизическая аномалия. Практически со всеми глубинными магматическими диапирами связаны месторождения рудных полезных ископаемых. На Кубе, в частности, в перекрывающих диапиры породах выявлено около 170 гидротермальных медных месторождений и рудопроявлений. Медно-никелевые месторождения Мончегорска и Печенги также, вероятно, генетически связаны на глубине с мантийными диапирами.

Мантийные диапиры, а точнее сопровождающие их трансоровые геофизические аномалии, можно рассматривать, таким образом, как поисковый критерий обнаружения соответствующих месторождений. Очевидно, он может быть использован там, где такие месторождения еще не выявлены, в частности и на Кольском полуострове.

Е.М. Крестин

### НОВЫЕ ДАННЫЕ, ПОДТВЕРЖДАЮЩИЕ ОПРЕДЕЛЯЮЩУЮ РОЛЬ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ ОЧАГОВ В ФОРМИРОВАНИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

На основании обобщения и анализа многочисленных данных по основным никеленосным провинциям мира (северо-запад Сибирской платформы, Печенгский район, Садбери и др.) ранее [8-12] было показано, что все разнообразие рудоносных интрузий и сульфидного медно-никелевого оруденения является главным образом результатом абиссальной дифференциации и ликвации никеленосной магмы в промежуточных магматических очагах и тектонической обстановки внедрения.

Эта концепция базируется на огромном количестве фактов, из которых основными являются следующие.

1) Связь месторождений только с многофазными интрузивами и эффузивами, сформировавшимися в результате самостоятельного внедрения слагающих их основных дифференциатов.

2) Отсутствие корреляционной зависимости мощностей отдельных дифференциатов и мощности рудного горизонта от общей мощности интрузии и между последней и количеством содержащихся в интрузии

зии полезных компонентов. То есть степень рудонасыщенности интрузивов определяется степенью дифференцированности исходной никеленосной магмы, а не степенью дифференцированности самих интрузивов. Аналогичная картина характерна и для рудоносных эффузивов коматитовой формации.

3) Приуроченность сингенетического вкрапленного оруденения только к наиболее магнезиальным (существенно оливинным) дифференциатам, независимо от условий их залегания и положения в теле интрузий.

4) Наличие в рудных районах и полях самостоятельных интрузий отдельных дифференциатов, в том числе ультраосновных, во многих случаях несущих богатое оруденение или тесно ассоциирующих с рудными телами.

5) Постоянное присутствие сульфидов в первичных стекловатых и раскристаллизованных включениях и интрателлурических вкраплениях оливина I и плагиоклаза I генераций.

6) Эпигенетический характер сплошных руд.

На существование промежуточных магматических очагов во время формирования медно-никелевых месторождений указывают также основные закономерности пространственного распределения последних: 1) все рудоносные магматиты и месторождения расположены непосредственно в зонах региональных магмоподводящих разломов глубокого заложения, образуя рудные поля и узлы, разделенные безрудными промежутками; 2) в пределах этих узлов наблюдается радиально-концентрическое распределение интрузий и устанавливается сходство их „корней“ в одном центре, от которого внедрение магмы происходило по концентрическим разломам; 3) рудоносные субультрамафитовые и ультрамафитовые магматиты и сплошные руды приурочены непосредственно к зонам магмоподводящих разломов. От центра рудных узлов к периферии и вверх по стратиграфическому разрезу магнезиальность и рудоносность магматитов и масштабы месторождений значительно уменьшаются.

Прямым признаком существования промежуточных очагов являются установленные во всех промышленно рудоносных районах интенсивные крупные (от 10x20 до 50x50 км) гравитационные аномалии эллипсоидальной, реже изометричной формы, которые однозначно интерпретируются как глубинные интрузивные массивы, являющиеся реликтами очагов. Глубины заложения промежуточных очагов по расчетам составляют для северо-запада Сибирской платформы от 2-4 до 11 км, для Печенгского района - от 2-3 до 15 км.

Во многих случаях (особенно в вулканоплутонических ассоциациях) промежуточные очаги отражаются в виде мульдо- и кальдерообразных прогибов, обусловленных компенсационным проседанием с широким развитием кольцевых и радиальных даек, вулканических построек и трубок взрыва. Состав обломков вмещающих пород, прорываемых туфовыми трубками взрыва, позволяют установить глубины их нижних концов, т.е. глубины залегания обуславливающих их очагов. Для Сибирской платформы они составляют 2,3-5,0 км и более, для Южной Африки - от 2,25 до 6,5-9,5 км [14].

Все эти геофизические и геологические данные однозначно указывают на многоэтажное расположение промежуточных очагов, причем наиболее благоприятными горизонтами для их формирования являлись раздели между крупными комплексами пород разной компетентности. Так, для Норильского района такими благоприятными горизонтами были границы между терригенным верхним палеозоем и карбонатным средним-нижним палеозоем (глубина 2-4 км), палеозоем и верхним протерозоем (глубина 6-7 км), между осадочным чехлом и фундаментом (глубина 10-11 км). Для Печенгского района устанавливается приуроченность промежуточных очагов к границам осадочной ждановской и эффузивной заполяринской свит (глубина 2-3 км), границе никельской и пуостаринской серий (глубина 5-6 км), вдоль которой проходит крупный согласный Лучломпольский разлом, и к границе „гранито-гнейсового” и „гранулит-базитового” слоев земной коры (глубина около 15 км).

Следует особо подчеркнуть, что к верхним горизонтам приурочены относительно мелкие периферические очаги, а к глубоким - крупные очаги, являвшиеся источником вещества для формирования рудных узлов и полей в целом. Полученные со времени наших публикаций новые данные как по давно известным, так и новым никеленосным регионам полностью подтверждают разработанную концепцию.

Для Печенгского рудного поля подтверждено, что формирование никеленосных массивов имело многофазный характер. В первую фазу сформировались слабодифференцированные и слаборудные массивы габбро-перидотитов и габброидов. Во второй фазе выделяются две субфазы формирования дифференцированных рудоносных массивов: ранняя относительно слабо рудоносная и поздняя рудоносная. В целом для процесса формирования никеленосных массивов характерно нарастание интенсивности проявлений магматизма, дифференциации исходного расплава и интенсивности оруденения [2]. Характерно также, что степень дифференцированности интрузий не определяет степени их рудоносности: „более трети рудоносных массивов не дифференцировано, а около половины безрудных прекрасно расслоено” [7, с. 47].

Подтверждены многоэтапность и многофазность формирования никеленосных интрузий Норильского района [1, 5 и др.], ВКМ [3], Бушевельского комплекса [16, 21]. Ранее [12] на основании анализа гравитационной карты района Садбери [19] было показано, что крупная гравитационная аномалия с центром несколько южнее южной кромки массива указывает на наличие в этом районе крупного скрытого интрузива, интерпретированного как реликт промежуточного очага, сформировавшего массив и оруденение Садбери. Эти построения нашли полное подтверждение в результате работ последних лет, выполненных канадскими геологами [18, 25 и др.].

Для интрузий района Инсизвы (Южная Африка) на основании детальных структурных, минералогических и геохимических исследований установлено, что формирование их происходило по крайней мере в три фазы: пикриты с сульфидным оруденением; основная магма, давшая при дифференциации в камере троктолиты и габбро;

гранофировая магма [20, 23]. При этом подчеркивается, что пикриты образовались за счет фракционирования оливина и сульфидного расплава на глубине в самостоятельной камере (очаге).

Интрузив Ноттреск (Северная Швеция) имеет зональное строение (от периферии к центру): нориты-магнетитсодержащие габбро-лейкогаббро-оливиновые габбро при воронкообразной форме тела и крутом (до вертикального) залегании зон. Показано, что массив сформировался в результате неоднократного диапирового внедрения отдельных дифференциатов в следующей последовательности: оливиновые габбро и лейкогаббро; магнетитсодержащие габбро, нориты, сульфидное оруденение, дайки диоритов. Подчеркивается, что жилы массивных руд образовались после норитов в процессе поздней магматической активности [26].

Многофазное становление никеленосных интрузивов и самостоятельное внедрение рудоносных дифференциатов, а в ряде случаев и сульфидного расплава, в виде фаз и субфаз доказано также для ряда других никеленосных районов.

Для зеленокаменных поясов Западной Австралии доказано [24], что рудоносные перидотитовые коматииты, дуниты и сульфидное никелевое оруденение сформировались в результате последовательного внедрения самостоятельных порций расплава, претерпевшего дифференциацию и ликвацию на глубине. Обоснована концентрически-конусная модель строения типовых рудных полей Норильского региона [17, 6, 15].

Крайне показательно, что при проведении работ в Центральной Европе установлена приуроченность рудоносных массивов района Железных гор и юга Лужицкого блока к зонам глубинных разломов по периферии крупных (около 10x15 км) интенсивных гравитационных аномалий.

Рассматриваемая концепция, объясняющая все наблюдаемое разнообразие рудоносных массивов и медно-никелевых месторождений как результат дифференциации и ликвации никеленосной магмы в промежуточных внутрикоровых магматических очагах и конкретной обстановки внедрения, имеет четкое практическое применение. Прежде всего эта концепция имеет определяющее значение для локального прогноза наиболее перспективных площадей в уже известных регионах и выявления новых рудных районов и полей, так как все рудоносные магматиты и месторождения располагаются в периферических частях интенсивных гравитационных аномалий, фиксирующих реликты промежуточных магматических очагов.

Основными обязательными элементами для положительного прогноза являются следующие.

1) Интенсивная гравитационная аномалия, фиксирующая реликт промежуточного очага. Масштаб и глубинность очага определяют размеры перспективной площади.

2) Зона регионального магмоподводящего разлома глубокого заложения, вскрывавшего этот очаг. Положение перспективной площади в плане определяется характером сочленения очага и разлома и углом падения последнего. При крутом падении перспективные пло-

щадя располагаются непосредственно на периферии аномалии в местах пересечения ее зоной разлома.

3) Наличие в этих узлах пересечения (сочленения) дифференцированных интрузий, интрузий, сложенных отдельными дифференциатами (особенно существенно оливиновыми), и высокомагнезиальных эффузивов (пикриты или перидотитовые коматииты), образующих мощные пачки потоков. Это позволяет однозначно говорить о проявлении глубокой дифференциации и определить ее характер и интенсивность.

Доказательствами отделения сульфидного расплава в промежуточных очагах и одновременно поисковыми признаками оруденения являются: 1) низкое содержание никеля в оливинах (достоверность и эффективность этого критерия доказывается экспериментальными работами); 2) наличие в фенокристаллах высокомагнезиального оливина 1 генерации раскристаллизованных и стекловатых первичных включений с сульфидами (подобные включения в оливинах установлены во всех изучавшихся в этом аспекте рудоносных интрузивах северо-запада Сибирской платформы [4], Инсизвы [22], Печенги [7] и района Ховальд-Рожаны); 3) существенное обеднение никелем высокомагнезиальных эффузивов - перидотитовых коматиитов или пикритов (на примере Камбалды показано, что промышленное оруденение связано только с такими коматиитами [13]); 4) высокое (0,7% и более) содержание цинка в хромитах (необходимо иметь в виду, что в метаморфизованных объектах содержание цинка должно определяться в ядрах зерен).

Применение разработанной концепции при изучении конкретных регионов позволяет проводить их более обоснованное прогнозно-металлогеническое районирование и значительно повысить эффективность поисковых работ.

#### Л и т е р а т у р а

1. Архипова А.И., Наторхин И.А. Железо- и никеленосность вулканоконтинентальных ассоциаций на северо-западе Сибирской трапповой провинции // Рудно-магматические комплексы северо-запада Сибирской платформы и Таймыра. Л., 1985. С. 34-51.

2. Астафьев Ю.А., Гончаров Ю.В., Смолькин В.Ф., Корчагин А.У. Геологические признаки многофазности никеленосного интрузивного магматизма в Печенгском рудном поле // Геология рудных месторождений. 1985. № 6. С. 43-50.

3. Бочаров В.Л., Фролов С.М., Чернышов Н.М. Строение и состав Еланьского никеленосного плутона в юго-восточной части Воронежского кристаллического массива // Изв. вузов. Геол. и разв. 1986. № 4. С. 10-19.

4. Громов А.В., Крестин Е.М. О магматических включениях в породообразующих минералах никеленосных трапповых интрузивов // Докл. АН СССР. 1967. Т. 175, № 2. С. 441-443.

5. Иванова Т.К. Морфогенетические особенности южных ветвей рудоносных дифференцированных интрузий Норильского узла // Комплексные методы поисков медно-никелевых месторождений в зонах развития криогенеза. Л., 1981. С. 59-77.

6. Кавардин Г.И. Металлогеническая зональность рудно-магматических систем норильского типа // Рудно-магматические комплексы северо-запада Сибирской платформы и Таймыра. Л., 1985. С. 52-63.

7. Кочнев-Первухов В.И. О критериях оценки рудоносности базит-гипербазитовых интрузий Печенгского рудного поля // Генезис и условия локализации медно-никелевого оруденения // Тр. ЦНИГРИ. М., 1981. Вып. 162. С. 45-49.

8. Крестин Е.М. Некоторые особенности ликвационно-магматического медно-никелевого оруденения северо-запада Сибирской платформы // Изв. вузов. Геол. и разв. 1967. № 7. С. 65-71.

9. Крестин Е.М. Промежуточные магматические очаги и их роль в формировании медно-никелевых месторождений // Современное состояние учения о месторождениях полезных ископаемых. Ташкент, 1971. С. 82-83. (Тезисы докл. Всесоюз. межвуз. совещ.).

10. Крестин Е.М. Условия формирования и основные закономерности размещения промышленного медно-никелевого оруденения на северо-западе Сибирской платформы // Рудообразование и его связь с магматизмом. М., 1972. С. 283-287.

11. Крестин Е.М. Прогнозно-металлогеническое значение и роль промежуточных магматических очагов в формировании и размещении медно-никелевых месторождений // Состояние и направление исследований по металлогении траппов. Красноярск, 1974. С. 77-78. (Тезисы докл. Третьего всесоюз. совещ.).

12. Крестин Е.М. Роль промежуточных магматических очагов в формировании медно-никелевых месторождений // Современное состояние учения о месторождениях полезных ископаемых. Ташкент, 1975. С. 109-117.

13. Лешер К.М., Гровс Д.И. Геохимические и минералогические критерии рудоносности коматиитов в австралийских зеленокаменных поясах архейского возраста // 27-й МГК. Петрология. Т. 9. М., 1984. С. 131-141.

14. Лурье М.Л., Обручев С.В. Основные черты эффузивного вулканизма трапповой формации Сибирской платформы // Матер. ВСЕГЕИ. Нов. серия., вып. 7. Л., 1955. С. 25-55.

15. Нагайцева Н.Н., Ермолаев И.К., Колесова Н.Ю. Никеленосные интрузивные комплексы центральной части Горного Таймыра // Рудно-магматические комплексы северо-запада Сибирской платформы и Таймыра. Л., 1985. С. 95-112.

16. Налдретт А.Дж., Гаспарини С., Барнес С.Дж., Шарп М.Р., фон Грюневальдт Г. Петрология верхней части критической зоны бушвельдского комплекса и ее значение для понимания генезиса рифа Меренского // 27-й МГК. Петрология. Т. 9. М., 1984. С. 175-183.

17. Салов В.М. Применение гравиразведки для тектонопалеовулканологических построений и поисков глубоко залегающих

медно-никелевых месторождений в Норильском районе // Автореф. канд. дис. Новосибирск, 1978. 16 с.

18. A b e l M.K. The structure of the Stratcona mine copper zone // CIM Bull. 1981. Vol. 74, N 826. P. 89-97.

19. D o m i n i o n Observatory: Gravity map of the Sudbury basin and vicinity // Dept. Min. Technic. Surv. Ottawa, 1953.

20. G r o v e s D.I., K o r k i a k o s k i E.A., M c N a u g h t o n N.J., L e s h e r C.M., C o w d e n A. Thermal erosion by komatiites at Kambalda, Western Australia, and genesis of nickel ores // Nature. 1986. Vol. 319, N 6049. P. 136-139.

21. H a r m e r R.E., S h a r p e M.R. Field relations and strontium isotope systematics of the marginal rocks in the eastern Bushveld Complex // Econ. Geol. 1985. Vol. 80, N 4. P. 813-837.

22. K o s t e r v a n G r o o s A.F. The origin of sulphide deposits: petrographic evidence for liquid immiscibility between silicate magmas and sulfide melts // Econ. Geol. 1967. Vol. 62, N 4. P. 551-553.

23. L i g h t f o o t P.C., N a l d r e t t A.J. The geology of the Tabankulu section of the Insizwa complex, Transkei, Southern Africa, with reference to the nickel sulphide potential // Trans. geol. Soc. S. Afr. 1983. Vol. 86, N 3. P. 169-187.

24. M a r s t o n R.J., G r o v e s D.I., H u d s o n D.R., R o s s J.R. Nickel sulfide deposits in Western Australia: a review // Econ. Geol. 1981. Vol. 76, N 6. P. 1330-1363.

25. S c r i b b i n s B.T., R a e D.R., N a l d r e t t A.J. Mafic and ultramafic inclusions in the sublayer of the Sudbury igneous complex // Can. Miner. 1984. Vol. 22, N 1. P. 67-75.

26. W i d e n f a l k N., E l m i n g S.-A., E n m a r k T. A multidisciplinary investigations of the Notträsk Gabbro, northern Sweden // Geol. fören. Stockholm förhandl. 1985. Vol. 107, N 2. P. 109-126.

О.А. Д ю ж и к о в

#### НОРИЛЬСКИЙ НИКЕЛЕНОСНЫЙ РАЙОН В СТРУКТУРЕ ЕНИСЕЙСКО-ОЛЕНЁКСКОГО РУДНОГО ПОЯСА

Современное состояние изученности Норильского рудного района позволяет по-новому рассматривать его геологическую позицию, глубинное строение и особенности магматизма, определившие развитие крупнейших сульфидных медно-никелевых месторождений раннемезозойского возраста. Этому в значительной степени способствовали обобщения В.С. Голубкова, Д.А. Додина, Г.И. Кавардина,

Н.С. Малича, Ю.Е. Погребничкого, Г.Г. Ремпеля, В.С. Суркова, Н.Н. Урванцева и др.

В настоящее время становится совершенно недостаточным определение позиции района с точки зрения его приуроченности к краевой северо-западной части Сибирской платформы, так как известно, что за пределами его, в том числе и в других краевых частях, несмотря на широкое проявление медно-никелевого рудообразования, крупные месторождения не обнаружены.

Новые представления, касающиеся эволюции структур Норильского и сопредельных районов, а также материалы сейсмозондирования, дают возможность с геодинамических позиций пересмотреть условия формирования уникальной концентрации металлов и более уверенно оценивать современный структурный план территории как результат наложения на зрелую континентальную кору движений тектогенеза автономной базальтовой активизации. Устанавливаемая довольно отчетливая унаследованность приповерхностных структур района от древних региональным глубинным разломам как элементам разветвленной рифтогенной системы, определившей чрезвычайно высокую флюидно-магматическую проницаемость земной коры. В таком понимании Норильский район оказывается обрамленным с запада и севера Западно-Сибирской рифтовой системой и Енисейско-Хатангским рифтогенным прогибом триасового возраста, т.е. находится в особых условиях разгрузки напряжений со стороны рифтогенных структур. Положение его на стыке Таймыро-Тунгусского трога карелид и рифейского Приенисейского перикратонного прогиба, а также позднегерцинская позиция в обрамлении рифтогенных структур свидетельствуют об условиях высокой динамической активности его развития на протяжении всей истории формирования, начиная от протоплатформенного этапа вплоть до автономной базальтовой активизации.

Переживают существенное обновление и традиционные представления о толеитовой (трапповой) природе медно-никелевых месторождений Норильского района. В качестве исходного расплава для гипербазит-базитовых пород и сульфидных руд, а также для всего многообразия продуктов магматизма нами принимается родоначальный пикрит, состав которого соответствует составу дифференцированных сульфидоносных интрузивов Норильского района [3, 4, 11]. Медно-никелевые месторождения пространственно и генетически связаны с гипербазит-базитовой вулкано-интрузивной никеленосной ассоциацией, включающей эффузивные пикриты, расслоенные интрузивы с вкрапленным оруденением и залежи массивных (богатых) руд.

Норильский район приурочен к Приенисейскому мегаблоку [3], составляющему крайнюю западную часть Енисейско-Оленёкского рудного пояса (рис. 1). В рамках Приенисейского мегаблока район как структурно и металлогенически обособленная территория обнаруживает отчетливую унаследованность по докембрийским дислокациям. Приенисейский перикратон, отвечающий Норильско-Турухан-

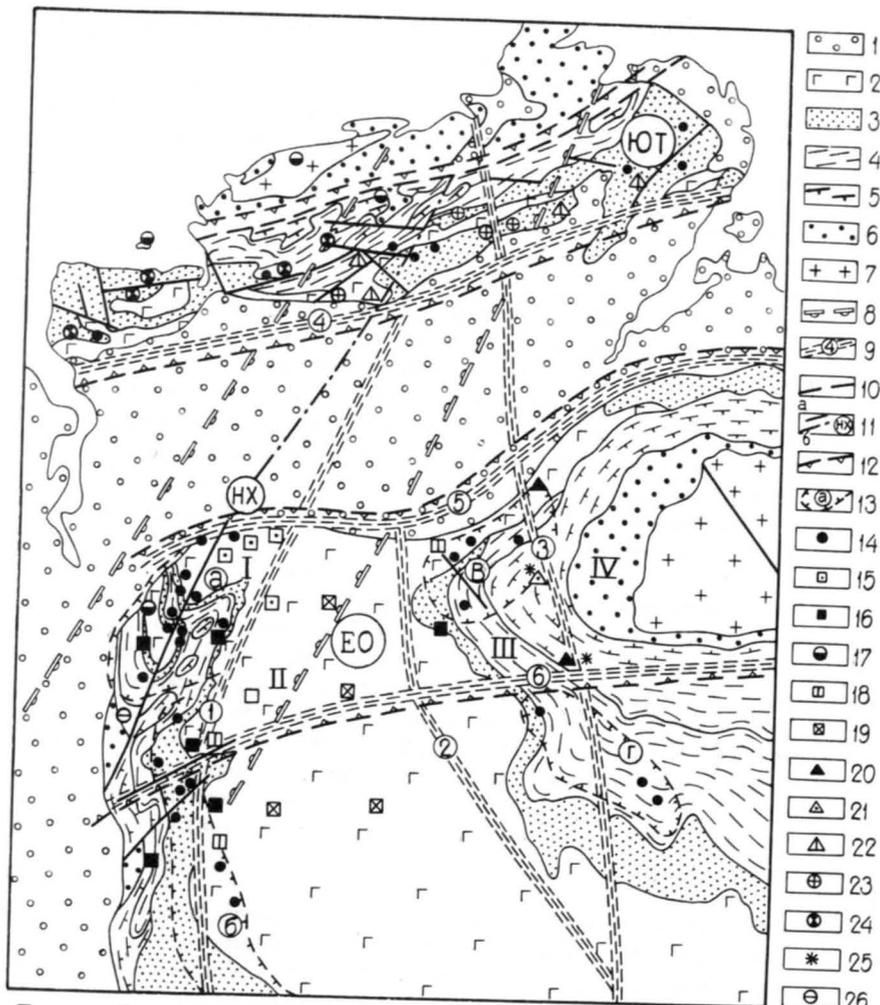


Рис. 1. Геолого-структурная схема районирования Северо-Сибирской никеленосной области.

1 - современные и мезо-кайнозойские осадочные отложения; 2 - вулканогенные образования верхней перми-среднего триаса; 3-5 - палеозойские осадочные отложения: 3 - верхнепалеозойские (карбон-пермь), интенсивно насыщенные интрузивными образованиями, 4 - среднепалеозойские (силур-карбон), 5 - нижнепалеозойские (кембрий-ордовик); 6-7 - протерозойские (6) и архейские (7) образования; 8 - Таймыро-Тунгусский трог карелид; 9 - зоны главных разломов фундамента: 1 - Приенисейская, 2 - Котуйско-Хетская, 3 - Байкало-Таймырская, 4 - Южно-Таймырская, 5 - Енисейско-Ленская, 6 - Курейско-Оленёкская; 10 - пограничная флексура, разделяющая Карское сводовое поднятие и Таймырскую эпиплатформенную складча-

скому авлакогену и характеризуемый повышенной (до 10 км) мощностью рифейских отложений, является составной частью древних структур растяжения, а Таймыро-Тунгусский трог, замкнувшийся к позднему рифею, определил главные черты геологической позиции и, по-видимому, металлогеническую специализацию рассматриваемого района. Выделенный Д.А. Додиным с соавторами [2] в контурах древнего трога Енисейско-Североземельский рудный пояс обнаруживает отчетливую зависимость специфики мантийного магматизма и эндогенного рудообразования этой территории от особенностей ее геологической позиции и глубинного строения.

Енисейско-Оленёкский рудный пояс следует рассматривать как южную фланговую зону разветвленной Енисейско-Хатангской рифтогенной системы. Вместе с тем он является составной частью Северо-Сибирской никеленосной области, в пределах которой кроме сульфидной медно-никелевой широко развиты и другие рудные формации. Важно обратить внимание на установленный на севере Сибирской платформы субширотный латеральный ряд магмопроявлений и хронологическую последовательность формирования различных по составу вулканогенных и интрузивных образований [3].

Анализируя главные черты магматической зональности Енисейско-Оленёкского рудного пояса, удается конкретизировать позицию в нем Норильского никеленосного района и период формирования месторождений, совпадающий с ранними фазами рифтогенеза. Уместно здесь акцентировать внимание и на том, что ареалы развития разновозрастных гипербазит-базитовых вулканитов, комагматичных расслоенным никеленосным массивам, открываются в Норильском районе в сторону Енисейско-Хатангского рифта. Аналогичная картина наблюдается и на противоположном северном плече рифта, в пределах эпиплатформенной области южного Таймыра.

Согласно известной модели мантийного диапиризма [5] и существующим представлениям об эндогенных режимах континентальных структур [1, 6, 8] в рассматриваемых особенностях магматизма

тую систему; 11 - главные региональные разломы (а), в том числе Норильско-Хараелахский, трассируемый по геолого-геофизическим данным (б) и предполагаемый под покровом юрско-меловых отложений Енисейско-Хатангского прогиба; 12 - контуры рудных поясов (ЮТ - Южно-Таймырского и ЕО - Енисейско-Оленёкского); 13 - никеленосные рудные районы (а - Норильский, б - Курейско-Северореченский, в - Ханарско-Маймеча-Котуйский, г - Котуйско-Видлойский); 14-26 - рудные формации: 14 - сульфидная медно-никелевая, 15 - медно-цеолитовая, 16 - сульфидно-магнетитовая, 17 - медно-порфировая, 18 - боросиликатная, 19 - кремнисто-карбонатная, 20 - апатит-магнетитовая, 21 - редкометалльно-карбонатитовая, 22 - редкометалльно-флюоритовая, 23 - полиметаллическая сульфидная, 24 - ртутно-сурьмяно-мышьяковая, 25 - кимберлитовая, 26 - медистых песчаников и сланцев. I - IV - мегаблоки фундамента: I - Приенисейский, II - Северо-Тунгусский, III - Маймеча-Котуйский, IV - Анабарский.

севера Сибирской платформы обнаруживается характерный пример эволюции сложной рифтогенной системы, заложение которой уходит своими корнями в дорифейскую эпоху [3]. Норильский район, совпадая с исключительно подвижной зоной активизированной платформы, оказывается в значительной степени пространственно совмещенным с южной трансформной ветвью раннемезозойского Енисейско-Хатангского рифта и расположенным в области, близкой к трехлучевому сочленению рифтовых зон.

Устанавливаемая унаследованность интенсивного позднепалеозойского-раннемезозойского рифтогенеза по докембрийским дислокациям и специфический глубинный характер магматизма свидетельствуют о преобладании длительных периодов возбужденного состояния мантии в районе Енисейско-Хатангского прогиба, а фиксируемая активизация древних палеорифтов, поперечных по отношению к главному стволу раздвига, указывает на последовательное развитие разветвленной рифтогенной системы.

Область плавления первичного мантийного субстрата вначале находилась, по-видимому, в западной части центральной раздвиговой зоны, где образовались крупные астеносферные диапиры, сложенные разуплотненным гипербазит-базитовым расплавом. По мере развития рифтогенеза очаги магмогенерации перемещались в восточном направлении с последовательным углублением и уменьшением объемов плавления. Происходило омоложение продуктов вулканизма, повышение их щелочности (и магнезиальности) и дискретное сокращение масштабов магмообразования. На фоне типичного траппового магматизма, затухающего с запада на восток, последовательно образуются щелочно-базитовые, гипербазит-базитовые, щелочные гипербазит-базитовые, щелочно-гипербазитовые вулканы, кимберлиты. Образование и поднятие центрального астеносферного диапира выражалось в формировании крупного свода с развитием осевых расколов, активизацией поперечных швов и «расползанием» разогретого мантийного вещества в периферические ослабленные зоны флангов. В этих поперечных структурах, одной из которых является Туруханско-Норильский регенерированный авлакоген, гипербазит-базитовый расплав в дальнейшем поднимался, по-видимому, из самостоятельных «отшнурованных» диапиров второго порядка.

На рис. 2 показана принципиальная схема латерального перемещения мантийного расплава из области первичной магмогенерации в активизированную зону, отвечающую Норильско-Хараелахскому трансформному разлому. Предполагается, что подъем астеносферы и проникновение разогретого гипербазит-базитового расплава в наиболее ослабленные участки пересечения разноориентированных разломов определяют положение корневых мантийных систем, формирование магматических колонн с образованием коровых промежуточных очагов, последующей их эволюцией и локализацией рудных узлов в благоприятных приповерхностных структурах платформенного чехла. В основании коры предполагается развитие больших затвердевших масс пикритоидного расплава. Они образуют так называемую корово-мантийную смесь и распространяются на этом

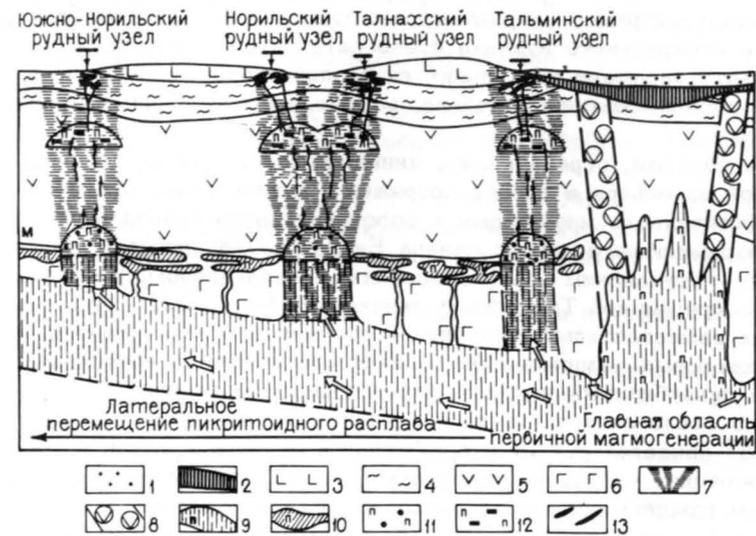


Рис. 2. Принципиальная схема формирования Норильско-Хараелахской региональной рудно-магматической системы.

1 - юрско-меловые терригенные отложения; 2-3 - вулканогенные образования пермо-триаса погребенные (2) и наземные (3); 4 - осадочные отложения; 5 - породы консолидированной коры; 6 - перidotиты верхней мантии; 7 - области повышенной флюидно-магматической проницаемости; 8 - ствольные рифтогенные зоны базификации коры; 9 - области зарождения и латерального перемещения никеленосного пикритоидного расплава; 10 - глубинные силы пикритов в подошве консолидированной коры; 11-12 - нижний (11) и верхний (12) уровни концентрирования сульфидов в промежуточных очагах магматических колонн; 13 - сульфидоносные расслоенные интрузивы и рудные залежи.

уровне вследствие близких плотностных свойств расплава и пород раздела кора-мантия, а также резко различающихся по степени проницаемости участков подошвы земной коры. Эта схема согласуется с моделью К. Кокса [12] в отношении пикритовых силлов, введшихся в основание приподошвенной части консолидированной коры. Растекание пикритового расплава в субгоризонтальных направлениях и его затвердевание приводят к утяжелению коры, ее утолщению и стиранию границ с мантией. Сложное строение раздела Мохоровичича с достаточно большим по вертикали диапазоном близких по значимости граничных поверхностей нередко наблюдается на профилях глубинного сейсмозондирования, выполненного в Норильском районе. Представления о латеральном перемещении мантийных расплавов находят подтверждение на примерах современного вулканизма. Так, изучение глубинных условий трещинных извержений Толбачинского вулкана [9] показывает значительную, на десятки километров, го-

горизонтальную миграцию первичных высокомагнезиальных расплавов, а питание центрального вулкана и его сателлитов осуществляется в результате эволюции нескольких гидравлически связанных между собой корово-мантийных очагов, вскрываемых глубинными разломами.

Таким образом, ограничиваясь линеаментными швами, Норильский район на севере и западе сопряжен с крупнейшими взаимосвязанными рифтогенными системами и пространственно совпадает с ветвью обрамляющего его с севера Енисейско-Хатангского рифта – Норильско-Туруханским регенерированным авлакогеном. На востоке от сопредельной Тунгусской синеклизы Норильский рудный район как самостоятельная глубинная структура ограничивается зоной транскорвых разломов, являющихся одновременно восточным барьером гипербазит-базитового никеленосного магматизма.

Анализ геолого-структурной обстановки Норильского рудного района [3] свидетельствует о приуроченности рудных узлов к участкам пересечения разноориентированных дизъюнктивных структур. При этом главной магмородукоконтролирующей структурой является Норильско-Хараелахский разлом, а большинство известных рудных узлов и месторождений совпадает с участками пересечения его дизъюнктивами других направлений.

Практическим следствием вышеизложенного является признание определяющей роли в формировании крупнейших медно-никелевых месторождений Норильского района положения его в крайней западной части Енисейско-Оленёкского рудного пояса, т.е. в области трехлучевого сочленения рифтовых зон. Установлена взаимосвязь геологической позиции района и развития в его пределах гипербазит-базитового никеленосного магматизма, отвечающего ранней фазе рифтогенеза, а также доказана латеральная и возрастная зональность магматизма, обусловившая различную металлогеническую специализацию мегаблоков, составляющих Енисейско-Оленёкский рудный пояс. Эти выводы и представления позволяют по-прежнему рассматривать Норильский район как важнейший региональный объект поисков новых крупных медно-никелевых месторождений. Требуется дальнейшего изучения зона Норильско-Хараелахского разлома, совпадающая с одноименной рудообразующей системой [3], особенно на участках пересечения ее поперечными структурами. Заслуживает также внимания Имангдинско-Летнинская зона разлома, которая трансформирует самостоятельную рудообразующую систему Норильского никеленосного района.

#### Л и т е р а т у р а

1. Б е л о у с о в В.В. Эндегенные режимы континентов. М., 1978. 232 с.
2. Д о д и н Д.А. и др. Енисейско-Североземельский меднорудный пояс (проблемы и перспективы) // Рудно-магматические комплексы северо-запада Сибирской платформы и Таймыра. Л., 1985. С. 5-15.

3. Д ю ж и к о в О.А., Д и с т л е р В.В., К а в а р - д и н Г.И. и др. Геологическая позиция, глубинное строение и рудно-магматические системы Норильского района // Глубинные условия эндогенного рудообразования. М., 1986. С. 204-219.
4. З о л о т у х и н В.В., В и л е н с к и й А.М., Д ю - ж и к о в О.А. Базальты Сибирской платформы. Новосибирск, 1986. 246 с.
5. З о н е и ш а й н Л.П., К у з ь м и н М.И., М о р а - л е в В.М. Рифтовые структуры в геологическом прошлом // Роль рифтогенеза в геологической истории Земли. Новосибирск, 1977. С. 11-15.
6. М и л а н о в с к и й Е.Е. Рифтогенез в истории Земли. М., 1983. 280 с.
7. М о с к а л е в а В.Н. Магматические формации как индикаторы рифтогенных систем // Сов. геология. 1982. № 10. С. 82-93.
8. Р а з в а л я е в А.В. Эндегенные режимы, предшествующие рифтогенезу // Геотектоника. 1979. № 6. С. 32-41.
9. Ф е д о т о в С.А. и др. Большое трещинное Толбачинское извержение. М., 1984. 637 с.
10. Я с к е в и ч В.И., Я к о в л е в Ю.К., Ч е т в е р - г о в А.П. и др. Результаты и проблемы изучения тектоники западной части Сибирской платформы и Енисей-Хатангского прогиба по геолого-геофизическим данным // Тектоника Сибири. Т. 9. Новосибирск, 1980. С. 79-84.
11. D i s t l e r V.V., G e n k i n A.D., D y u - z h i k o v O.A. Sulfide Petrology and Genesis of Copper-Nickel Ore Deposits // Geology and Metallogeny of Copper Deposits. Berlin Heidelberg. 1986. P. 111-123.
12. С о х К.Г. A model for flood basalt vulcanism // Journ. of Petrology. 1980. Vol. 21, pt 4. P. 629-650.

А.В. Т а р а с о в

#### ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РУДНЫХ ОБЪЕКТОВ НОРИЛЬСКОГО ТИПА

Прогнозная оценка известных медно-никелевых рудных объектов разного ранга в пределах Северо-Азиатской платформы (по [7]) во многом определяется выявлением структурной позиции этих объектов и их развитием в общей истории тектоно-магматической эволюции рудоконцентрирующих и обрамляющих структур.

Северо-Сибирская никеленосная провинция охватывает площадь северо-западной части Сибирской платформы и южной части Таймырской складчатой области и включает Енисейскую промышленно-рудноносную, Вилюйско-Котуйскую и Южно-Таймырскую никеленосные структурно-металлогенические зоны. Эти зоны располагались в краевых частях палеобассейна развития траппового вулканизма пермо-триасовой эпохи активизации Северо-Азиатской платформы, охватывающего современные площади Тунгусской синеклизы, Енисей-Хатангского прогиба и юга Таймырской складчатой области [7]; вулканотектоническая активизация этого периода охватывала и области Западно-Сибирской плиты с развитием здесь рифтовых систем [5, 10]. Провинция в целом представляет собой складчато-блоковую структуру, осложненную мантийными субмеридиональными линеаментами (Енисейский, Байкало-Североземельский) и сопряженными с ними трансформными разломами северо-восточного и северо-западного простирания. Она характеризуется широким развитием дифференцированных серий лав и более локальным проявлением сульфидоносных дифференцированных интрузивов.

Енисейская и Вилюйско-Котуйская никеленосные металлогенические зоны имеют в плане дугообразную форму, ориентированную выпуклой частью к западу субпараллельно границам сочленения краевых частей Тунгусской синеклизы с Приенисейским (Игарско-Туруханским) поднятием и Анабарской антеклизой. Таймырская металлогеническая зона ориентирована выпуклой частью к югу, конформно границам Карского сводового поднятия. В пределах металлогенических зон наблюдается смена медно-никелевой формации халькопирит-пирит-пирротиновой и железорудной, полиметаллической и редкометалльной формациями; первые три формации сменяют друг друга наиболее четко с севера на юг в пределах Енисейской зоны, что характерно также и для ее рудных районов.

Пространственная приуроченность никеленосных металлогенических зон к краевым частям вулканогенного палеобассейна предопределена прежде всего особенностями строения и развития Тунгусской синеклизы, на что указывают большинство исследователей.

Характерная черта бортовых частей Тунгусской синеклизы — отсутствие (или единичные проявления на отдельных участках) протяженных базитовых даек, широко проявленных вдоль северо-западной и южной границ Вилюйской синеклизы в зонах флексур среднепалеозойского развития [5]. В то же время к прибортовой части синеклизы приурочены мощные, многоэтажные пластовые базитовые интрузивы, которые вопреки общему воздыманию туфолаво-вой толщи к югу в этом же направлении локализируются не только в верхнепалеозойском, но и в нижнепалеозойском структурном ярусе. Это указывает на существование к периоду их внедрения антеклиз и валов, окружающих синеклизу, а также на преобладание здесь вертикального растяжения вмещающих толщ.

Наиболее характерным структурным элементом внутренней части Тунгусской синеклизы является Тембенчинская (Сыверминская) впадина, которая характеризуется преимущественным развитием плато-

базальтов, большой их мощностью, интенсивной концентрацией здесь разрывных нарушений [2], увеличенной мощностью гранито-гнейсового слоя (до 25 км) и большой глубиной (до 45 км) поверхности Мохоровичича. В современном срезе Тембенчинская впадина разделяет Енисейскую и Вилюйско-Котуйскую никеленосные металлогенические зоны. Полагаем, что развитие именно этой структуры и ее обрамления во многом определяло специфические черты интрузивного магматизма и минерации в ее периферических частях, особенно в северной, наиболее погруженной части.

Роль разрывных нарушений в формировании центральной части Сибирской платформы и, в частности, Тунгусской синеклизы исследователи рассматривают с различных позиций. Взаимосвязь траппового магматизма и разрывных нарушений наиболее последовательно была исследована В.Л. Масайтисом [5], который в итоге многолетних работ пришел к выводу, что трапповый магматизм Тунгусской синеклизы является частью крупной рифтовой системы, концентрирующейся радиально по отношению к Карскому поднятию. По данным В.С. Суркова и др. [10], Западно-Сибирская рифтовая область является частью глобальной Арктико-Атлантической рифтовой мегасистемы. Следовательно, влияние Карского поднятия на ориентировку рифтовых структур можно рассматривать как один из многих факторов.

Материалы съемочных работ и данные геофизических исследований указывают, что из многочисленных и даже крупноамплитудных разломов только немногие были магмоконтролирующими; к ним относятся и линеаменты, которые в чехле платформы лишь на отдельных отрезках контролировали размещение базитовых интрузивов. Характерно также, что магмоконтролирующие участки разломов во многих районах располагаются конформно бортам антеклиз, реже — радиально к ним. Как правило, эти же отрезки разрывных нарушений и их пересечения контролируют эндогенные рудные формации.

В северной части платформы совместно с трапповым магматизмом происходило формирование платформенных складчатых структур. Разнородные магнитные и гравитационные аномалии Енисей-Хатангского прогиба многие исследователи [1, 11 и др.] интерпретируют как крупные магматические тела (положительные аномалии), приуроченные к рифтовым областям. Отрицательные гравитационные аномалии связывают с соляными телами, перемещение и концентрация которых происходили под действием вертикального давления внедряющихся интрузивных тел. Сложные соляные тела широко развиты в краевых частях медно-никелевых рудных полей северо-западной части платформы и отнесены к типу инъективных дислокаций [12].

На основании палеомагнитных данных было предположено, что западная часть Таймырской складчатой области была развернута на 30° по часовой стрелке и смещена по отношению к северо-западному краю Сибирской платформы за счет растяжения земной коры при формировании Енисей-Хатангского прогиба, в пределах

которого сформировались рифтовые зоны восток-северо-восточного простирания [1, 11 и др.]. Детальное изучение отдельных площадей Таймырской складчатой области позволило Ю.М. Мальцеву и В.В. Беззубцеву [4] подтвердить установленное ранее наличие надвиговых структур; они показали, что докембрийские и фанерозойские структуры здесь формировались в результате тангенциальных напряжений, направленных с центральных частей Карского поднятия в юг-юго-восточном и юго-восточном направлениях. Широкое проявление надвиговых структур и горизонтальных движений в пределах Сибирской платформы и краевых частей Тунгусской синеклизы установлено А.А. Межвилком [6], а в пределах рудных полей – А.В. Тарасовым [13].

Таким образом, трапповый магматизм северной части Северо-Азиатской платформы и формирование Тунгусской синеклизы находились во взаимосвязи с развитием крупных пликативных структур и разрывных нарушений в поле дифференциально проявленных горизонтальных напряжений сжатия и растяжения. Такая взаимосвязь факторов затрудняет выявление ведущих („долгоживущих“) геодинамических систем при реставрации условий размещения интрузивных образований, в частности дифференцированных никеленосных. Такие интегрированные геодинамические условия могут быть выявлены посредством исследования координационных тектонических зон (КТЗ), обоснованных Г.Л. Поспеловым [8].

По имеющимся данным геологических съемок и литературным источникам нами были выявлены основные КТЗ Сибирской платформы, трассы которых объединили осевые линии рифтов или прогибов, впадин, синклиналей или брахиантиклиналей, линейно-вытянутых антиклиналей или центральные зоны линейно-вытянутых протяженных дайковых полей и т.п. Характерной особенностью КТЗ Сибирской платформы в отличие от подобных зон в пределах Западно-Сибирской плиты является образование ими неправильной сети и нередко дугообразная их форма. Пространственное размещение и конфигурация КТЗ в пределах платформы во многом определяются границами антеклиз и сводовых поднятий, КТЗ в одних случаях сопровождаются разломами или их оси совпадают, в других КТЗ ограничиваются разломами; нередко КТЗ проявляются в виде прерывистых пунктирных зон.

Геодинамический режим формирования КТЗ представляется возможным установить не во всех случаях. Нами принято, что перпендикулярно осевым частям рифтов, линейно-вытянутых впадин и зон даек от их бортов господствовало напряжение растяжения, а осевым частям линейно-вытянутых валов и антиклиналей – напряжения сжатия. При этом считается, что в прилегающих частях КТЗ растяжения господствовало напряжение сжатия и наоборот, исходя из того, что однонаправленные „бесконечные“ растягивающие или сжимающие усилия не могут существовать в земной коре.

Анализ показывает, что никеленосные металлогенические зоны формировались в условиях тангенциального сжатия. Особенность позиции Норильского промышленного района определяется близостью

его к КТЗ интенсивного растяжения, т.е. он характеризовался максимальным тангенциальным сжатием с севера, запада и востока, связанным с формированием рифтовых структур и линейно-вытянутых впадин Западно-Сибирской плиты, южного рифта Енисей-Хатангского прогиба и Тембенчинской впадины.

Бликий геодинамический режим имели Вилуйско-Котуйская и Южно-Таймырская металлогенические зоны, в которых преобладало однонаправленное тангенциальное сжатие. Они подобны и по занимаемой структурной позиции – на бортах сводовых поднятий – Анабарской антеклизы и Карского поднятия, а также по наличию в их краевых частях малых тел ультраосновных-щелочных пород.

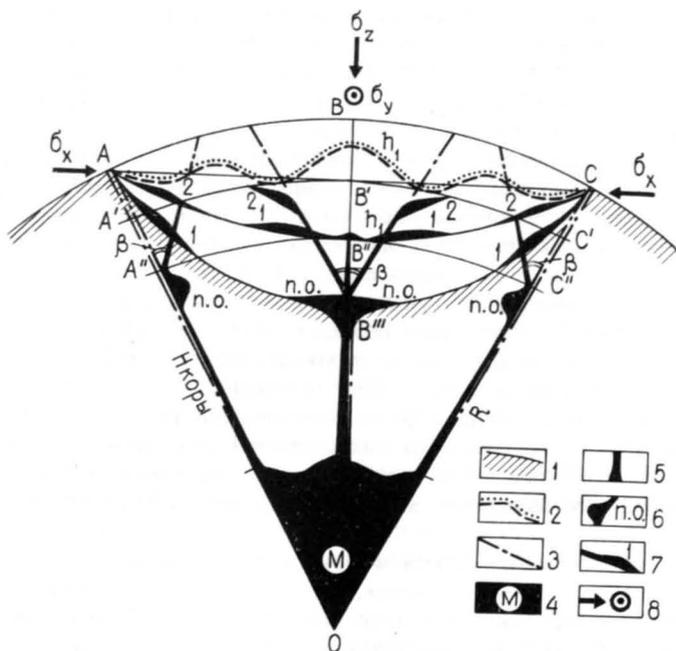
Особый интерес представляют области пересечения КТЗ различных простираний, так как в них происходила максимальная релаксация тектонических напряжений. К ним должны быть приурочены центры рудно-магматических и флюидогенных систем. Действительно, на пересечении некоторых из них расположены магнетитовые месторождения и рудные поля, трубки взрыва алмазоносной провинции, ультраосновные-щелочные интрузивы Маймеча-Котуйской провинции.

На пересечении Амбарнинской и Норильско-Хараелахской КТЗ расположено Талнахское медно-никелевое рудное поле, а первой с Фокинской КТЗ – никеленосные интрузивы западного борта Южно-Норильского узла. В зоне пересечения Норильско-Хараелахской и Хараелахско-Дельканской КТЗ по геофизическим данным (район среднего течения р. Джанги) предполагается промежуточный магматический очаг, генерирующий никеленосные магмы.

Перечисленные примеры дают основание считать области пересечения КТЗ в пределах никеленосных металлогенических зон и прилегающих к ним участков как потенциально перспективные площади для обнаружения новых рудных объектов норильского типа. К таким площадям относятся следующие области пересечения КТЗ: Хараелахско-Дельканской с Кумгинской и Тембенчинской, Хантайско-Рыбинской и Тембенчинской, Амбарнинской и Фокинской, Норильско-Хараелахской и Хараелахско-Дельканской. Наиболее перспективной и малоисследованной площадью является междуречье верховьев Кыстыктах- и Мстах-Сала на пересечении Тембенчинской и других КТЗ.

Установленные закономерности позволяют наметить общий ход развития северо-западной части Северо-Азиатской платформы и прилегающих областей с начала эпохи пермо-триасовой активизации.

Первый этап – общее сводовое поднятие территории с дифференциальными скоростями воздымания отдельных частей; оно заканчивается образованием рифтовых систем с излиянием трапповых магм. В пределах Тунгусской синеклизы наибольшему расколу подверглась осевая часть Тембенчинской впадины с образованием рифта северо-западного простирания и излиянием платобазальтов. При значительном опускании поверхности М за счет излияния больших объемов базитового расплава на поверхность и внедрения в виде пластовых интрузий в зоны вертикального растяжения более магнетические никеленосные расплавы внедрялись в периферийные зоны



Региональная кинематическая модель интрузии никеленосной магмы. Составил А.В. Тарасов с использованием „хордовой модели” Ю.А. Косыгина, В.А. Магницкого, В.В. Бронгулеева, Дж. Робертса.

1 – субстрат, испытывающий вертикальные движения; 2 – складки в слоистой толще; 3 – магмопроводящие разрывы; 4 – мантийная область; 5 – магмоподводящие каналы; 6 – промежуточные магматические очаги; 7 – рудоносные интрузии (цифры на схеме: 1 – нижних и 2 – верхних рудно-магматических горизонтов); 8 – векторы напряжений.

Тембенчинской впадины, образуя там промежуточные очаги, генерирующие сульфидные медно-никелевые руды. Пульсационное развитие КТЗ способствовало отжиманию сульфидоносных расплавов в верхнюю часть платформенного чехла.

Второй этап связан с юрско-меловой тектоно-магматической активизацией, приведшей к воздыманию Анабарской антеклизы, образованию Путоранского свода в северо-восточной части Тембенчинской впадины, воздыманию Карского поднятия, развитию сдвигов и подновлению надвигов в Таймырской складчатой области. В результате этого этапа был сформирован Енисей-Хатангский наложенный прогиб, отделивший Таймырскую складчатую область от Сибирской платформы.

В заключительный, третий, этап указанные выше области продолжали воздыматься, что привело к глубокой эрозии рудных полей.

Предполагаемая схема развития Тунгусской синеклизы в первый этап пермо-триасовой активизации Северо-Азиатской платформы позволяет привлечь „хордовую” модель [3], а также предложенные к этой модели расчетные формулы [9] и другие гидродинамические расчеты для определения числовых параметров внедрения и размещения дифференцированных рудоносных интрузий в приповерхностной части коры. Сущность „хордовой” схемы (см. рисунок) заключается в предположении, что при изменении знака вертикальных движений в определенных частях слоистого комплекса земной коры должны возникать тангенциально ориентированные к слоям силы, которые могут вызывать возникновение складок; на глубине отмечается структурная дисгармония, так как наиболее деформированными оказываются слои, которые прошли хордовое сечение. Такие закономерности характерны для Норильского района [13].

Согласно расчетам, рудоносные интрузии в Норильском районе наиболее обособленно могут локализоваться до глубин 3,8–4,0 км. Наличие горизонта повышенного тангенциального сжатия может привести к образованию под ним промежуточных магматических очагов на глубине 5–7 км, обладающих избыточным давлением порядка 250–300 кг/см<sup>2</sup>. Полученные глубины возможной локализации промежуточных очагов совпадают с залеганием меденосных кембрийских и протерозойских толщ. Частичное их плавление могло привести к обогащению медью сульфидных расплавов и к образованию гранитных расплавов – источников штокообразных тел с медно-молибденовым оруденением. Подводящие каналы к пологим пластовым интрузиям располагаются под углом 40–43° относительно главных магмоподводящих структур, сообщаясь с подкоровыми и мантийными областями. Геологические данные указывают, что такие наклонные подводящие каналы от промежуточных очагов могут сочленяться с флексурами, флексуросбросами и сферическими дугообразными разрывами верхних структурных ярусов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гусев Б.В. Палеомагнетизм траппов и горизонтальные движения земной коры на севере Средней Сибири // Геофизические методы разведки в Арктике. Вып. 8. Л., 1973. С. 45–48.
2. Кириллов А.С. Тектонические разрывы Тунгусской синеклизы // Советская геология. 1966. № 9. С. 140–146.
3. Косыгин Ю.А., Магницкий В.А. О возможных формах геометрической и механической связи первичных вертикальных движений, магматизма и складкообразования // Бюл. МОИП. Отд. геол. 1948. № 3. С. 3–15.
4. Мальцев Ю.М., Безубцев В.В. О надвиговых структурах Таймырской складчатой области // Геология и геофизика. 1979. № 3. С. 47–53.
5. Масайтис В.Л. Пермский и триасовый вулканизм Сибири: проблемы динамических реконструкций // Зап. ВМО. 1983. Вып. 4. С. 412–425.

6. Межвилк А.А. Роль горизонтальных движений в формировании тектонических структур и месторождений Норильского района // Геотектоника. 1984. № 1. С. 99–110.

7. Потребички Ю.Е. Палеотектонический анализ Таймырской складчатой системы. Л., 1971. 248 С.

8. Поспелов Г.Д. О типах механических геологических напряжений и геотектонической решетке // Изв. Восточных филиалов АН СССР. 1957. № 1. С. 14–26.

9. Робертс Дж. Внедрение магмы в хрупкие породы // Механизм интрузий магмы. М., 1972. С. 230–283.

10. Сурков В.С., Трофимук А.А., Жеро О.Г., Конторович А.Э., Смирнов Л.В. Триасовая рифтовая система Западно-Сибирской плиты, ее влияние на структуру и нефтегазоносность платформенного мезозойско-кайнозойского чехла // Геол. и геофиз. 1982. № 8. С. 3–15.

11. Гальвиский Д.Б. Тектоника Енисей-Хатангской нефтегазонасыщенной области и сопредельных территорий по геофизическим данным. М., 1976. 168 с.

12. Тарасов А.В. О роли инъективных дислокаций в формировании структур норильских медно-никелевых месторождений // Трапы Сибирской платформы и их металлогения. Иркутск, 1971. С. 92–94.

13. Тарасов А.В. Структура Норильского, Талнахского и Иманджинского рудных узлов // Петрология и перспективы рудоносности траппов Севера Сибирской платформы. Новосибирск, 1978. С. 161–194.

Т.Л. Евстигнеева, А.Д. Генкин

#### ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ НОРИЛЬСКИХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД: ПРИРОДНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

В медно-никелевых рудах, как известно, платиновые металлы находятся в двух главных формах: в виде твердых растворов в основных рудообразующих сульфидах (пентландите и пирротине) и в виде собственных минералов. Характер сростаний и особенности состава минералов платиновых металлов (МПМ) зависят от двух главных факторов: состава порождающей руды магмы (распределение, концентрация, соотношение платиноидов и сопровождающих их элементов) и условий ее кристаллизации (последовательность формирования и состав МПМ в различных участках месторождений и типах руд). Рассмотрение особенностей морфологии и состава различных сростаний МПМ в основных типах медно-никелевых руд норильских месторождений позволяет обсудить некоторые вопросы генезиса МПМ в этих рудах [9].

Наиболее распространенные вкрапленные руды достаточно бедны МПМ. В этом типе руд преобладают минералы платины: куперит и изоферроплатина. Сперрилит встречается реже. Иногда обнаруживаются редкие мелкие минералы палладия (арсениды). И куперит, и изоферроплатина наблюдаются в виде хорошо образованных кристаллов, однако вместе практически не встречаются. В основном эти минералы располагаются либо в пирротине, либо на границе пирротина с халькопиритом.

МПМ сплошных руд представлены широким спектром соединений. Среди них – распространенные в рудах месторождений сперрилит, майчнерит и др., но наряду с последними и более “редкие” МПМ с оловом, висмутом, свинцом и медью (табл. 1). Многие из них обнаружены только в рудах норильских месторождений (маякит, кабриит, полярит и др.). “Типоморфными” для норильских месторождений элементами-партнерами платиновых металлов можно считать свинец, олово и медь (при одновременном вхождении в минерал). Отмечаются некоторые различия в составе МПМ сплошных руд из разных участков месторождений: большинство Pb-Bi МПМ установлены в Талнахском месторождении (существенно талнахитовые и кубанитовые руды), где наблюдается определенная связь с другими Pb-содержащими минералами (шадлунит). В сплошных рудах Октябрьского месторождения практически полностью отсутствует тетраферроплатина – типичный минерал сплошных руд других участков. Содержание минералов платиновых металлов в рудах растет с увеличением относительного количества меди: в рудах, сложенных минералами группы халькопирита, количество МПМ возрастает в ряду халькопирит-талнахит-моихукит-путоранит. В наиболее богатых платиноидами моихукитовых (путоранитовых) рудах размер выделений МПМ достигает миллиметра и даже более. В основном МПМ ассоциируют с минералами группы халькопирита и кубанитом, гораздо реже они наблюдаются на контактах этих минералов с пирротинном; в существенно пирротинных рудах практически не встречаются. Наиболее характерны выделения МПМ в виде метакристаллов и сложных сростаний. Метакристаллы скелетной формы чаще всего представлены минералами платины – самородная платина, рустенбургит ( $Pt_3Sn$ ), сперрилит ( $PtAs_2$ ); гораздо реже – минералами палладия – атокит ( $Pd_3Sn$ ); паоловит ( $Pd_2Sn$ ). В состав сростаний иногда входит до 5–6 МПМ, набор их кажется иногда случайным (сперрилит, полярит, атокит, станнопалладинит, маякит и др.). Очень трудно проследить какую-либо связь по составу и порядку кристаллизации МПМ такого сростания, тем более что иногда совсем рядом располагаются сростания, включающие МПМ, разные по составу (соболевскит-паларстанит и соболевскит-сперрилит-станнопалладинит), а форма самих зерен МПМ часто не позволяет даже предположить какой-то определенный порядок кристаллизации. Правильные кристаллические границы зерен атокита, сперрилита, иногда и других МПМ скорее связаны с высокой кристаллизационной способностью этих минералов, что позволяет им приобретать правильные кристаллические очертания даже при образовании в твердой матрице.

Таблица 1

Минералы платиновых металлов медно-никелевых сульфидных руд Норильских месторождений

1. Атоцит	- Pd <sub>3</sub> Sn	24. Паларстанид	- Pd <sub>5</sub> SnAs
2. Бреггит	- (Pt,Pd,Ni)S	25. Пломбопалладинит	- Pd <sub>3</sub> Pb <sub>2</sub>
3. Винсентит	- Pd <sub>3</sub> (As,Sb)	26. Полярит	- PdBi-PdPb
4. Геверсит	- PtSb <sub>2</sub>	27. Рустенбургит	- Pt <sub>3</sub> Sn
5. Звягиншевит	- Pd <sub>3</sub> Pb	28. Садберит	- PdSb
6. Изомертиит	- Pd <sub>11</sub> Sb <sub>2</sub> As <sub>2</sub>	29. Соболевскит	- PdBi
7. Изоферроплатина	- Pt <sub>3</sub> Fe	30. Сперрилит	- PtAs <sub>2</sub>
8. Инсизваит	- PtBi <sub>2</sub>	31. Станнопалладинит	- Pd <sub>5</sub> Sn <sub>2</sub> Cu
9. Ирарсит	- IrAsS	32. Стибиопалладинит	- Pd <sub>5+x</sub> Sb <sub>2-x</sub>
10. Кабриит	- Pd <sub>2</sub> SnCu	33. Таймырит	- Pd <sub>9</sub> Sn <sub>4</sub> Cu <sub>3</sub>
11. Котульскит	- PdTe	34. Теларгпалит	- (Pd,Ag) <sub>4</sub> Te
12. Куперит	- PtS	35. Тетраферроплатина	- PtFe
13. Лаурит	- RuS <sub>2</sub>	36. Фрудит	- PdBi <sub>2</sub>
14. Масловит	- PtBiTe	37. Хараелахит	- (Cu,Pt,Pb, Fe,Ni,Pd) <sub>9</sub> S <sub>8</sub>
15. Майчнерит	- PdBiTe	38. Холлингвортит	- RhAsS
16. Маякит	- PdNiAs	39.	- Pd <sub>5</sub> As <sub>2</sub>
17. Меренскиит	- PdTe <sub>2</sub>	40.	- (Pd,Ni) <sub>5</sub> As <sub>2</sub>
18. Мертиит-I	- Pd <sub>8</sub> (Sb,As) <sub>3</sub>	41.	- Ni <sub>6</sub> Pd <sub>2</sub> As <sub>3</sub>
19. Мончеит	- PtTe <sub>2</sub>	42.	- Pd <sub>2</sub> (Sb,As)
20. Ниггвлиит	- PtSn	43.	- Pd <sub>2</sub> (Sn,Sb)
21. Палладоарсенид	- Pd <sub>2</sub> As	44.	- Pd <sub>6</sub> Sn <sub>2</sub> As-
22. Паоловит	- Pd <sub>2</sub> Sn	45.	- Pd <sub>6</sub> As <sub>2</sub> Sn
23. Палладовисмут- арсенид	- Pd <sub>10</sub> BiAs <sub>4</sub>		- (Au,Pd)Cu

Полиминеральные агрегаты МПМ, состоящие из фаз сходного элементного состава, обычно представлены зональными сростаниями. В центре таких сростаний часто наблюдается зона рустенбургитового состава, затем идет станнопалладинит (иногда с включениями атоцита), краевая зона - тетраферроплатина (табл. 2). Встречаются также сростания двух фаз: паоловит (центр) и станнопалладинит (или кабриит). Подобные сростания вероятнее всего образовались в ходе превращений ранее сформированных рустенбургита (и атоцита) при взаимодействии последних с остаточными флюидами растворов и при участии медьсодержащих сульфидов, включающих эти МПМ (халькопирит, таллахит, моихукит). Встречаются сростания МПМ всех этапов подобного превращения: с незначительной зоной станнопалладинита и очень тонкой каймой тетраферроплатины;

Таблица 2

Зональные сростания МПМ из силловых руд (по [9])

Минерал	Содержание, мас. %									
	Pd	Pt	Sn	Cu	Pb	Sb	Fe	Ni	Сумма	
Рустенбургит	15.6	60.5	18.8	2.3		1.3		1.3	99.8	
Станнопалладинит	45.2	15.4	23.1	9.6	5.4	0.9			99.6	
Тетраферроплатина		77.2		3.4			18.7		99.3	
Рустенбургит	7.3	69.8	18.9	2.3				1.4	99.7	
Атоцит	55.0	19.5	19.0	1.8	5.5			0.5	101.3	
Станнопалладинит	56.9	3.2	23.5	9.8	6.4	0.6			100.4	
Тетраферроплатина		79.8		3.6			13.0	3.0	99.4	
Станнопалладинит	52.0	13.2	25.5	8.7	1.3				100.7	
Рустенбургит	21.6	54.8	19.9	1.8		1.3		1.3	100.7	
Тетраферроплатина		77.5		2.8			16.0	3.5	99.8	
Рустенбургит	23.1	55.8	20.3					0.9	100.1	

Состав зональных срastаний МПМ из прожилково-вкрапленных руд [9]

Зона	Содержание, мас. %						Сумма
	Pt	Pd	Cu	Pb	Fe	Ni	
Центр	79.83	3.89				1.67	100.32
1-я зона	44.81	27.92				6.53	99.05
2-я зона	38.83	32.50				8.44	99.98
Край	34.70	0.20	12.20	24.20	5.35	4.24	99.59
	32.70	0.20	12.70	25.00	5.80	4.40	100.50

Центр  $(Pt_{0.86}Pd_{0.08}Ni_{0.06})_{1.0}S_{1.00}$ 1-я зона  $(Pd_{0.43}Pt_{0.38}Ni_{0.18})_{0.99}S_{1.0}$ 2-я зона  $(Pd_{0.48}Pt_{0.31}Ni_{0.22})_{1.0}S_{0.99}$ Край  $(Pt_{2.40}Cu_{2.64}Pb_{1.61}Fe_{1.32}Ni_{0.99}Pd_{0.03})_{8.99}S_{8.01}$  $(Pt_{2.23}Cu_{2.65}Pb_{1.59}Fe_{1.38}Ni_{0.99}Pd_{0.02})_{8.88}S_{8.12}$ 

П р и м е ч а н и е. MS-46, аналитик И.П. Лагутина.

Т а б л и ц а 4

Состав зональных срastаний МПМ с валлериитом

Зона	Содержание, мас. %				
	Pd	Sn	As	Sb	Сумма
Центр	70.5	5.8	2.5	18.0	98.9
Край	72.0	1.8	9.4	12.9	96.7 изомергит
Центр	$Pd_{11.13}(Sb_{2.49}Sn_{0.82}As_{0.56})_{3.87}$				
Край	$Pd_{10.98}As_{2.03}(Sb_{1.72}Sn_{0.26})_{1.98}$				

П р и м е ч а н и е. MS-46, аналитик Н.В. Тронева.

с малыми реликтами рустенбургита, мощной зоной станнопалладинита и хорошо развитой каймой тетраферроплатины; станнопалладинита и тетраферроплатины. Для МПМ сплошных руд весьма характерны такие ассоциации с редкими минералами: джерфшеритом, самородным золотом, (Au, Cu) сплавами, валлериитом. Часто наблюдаются тесные срastания с этими минералами, свидетельствующие о близком времени образования подобных ассоциаций. Минералы поздних ассоциаций, такие как магнетит и хлорит, часто замещены валлериитом, иногда рассекают минералы платиновых металлов и основные рудные сульфиды.

Интересные срastания МПМ довольно крупных размеров (до нескольких сантиметров) приурочены к периферическим частям рудных тел, особенно к верхним зальбандам сплошных халькопиритовых (моихукитовых) руд, где развиты необычные галенит-халькопиритовые, галенит-моихукитовые (и галенит-борнитовые) образования типа эвтектоидных срastаний. Здесь МПМ тесно ассоциируют с минералами теллура и свинца (алтаитом, клаусталитом, гесситом и др.).

Своеобразные МПМ характерны для прожилково-вкрапленных и брекчиевидных руд, развитых в экзоконтакте интрузива и представленных существенно халькопиритовыми рудами с миллеритом и борнитом в осадочно-метаморфических породах. Здесь широко распространены сульфиды и другие теллуриды и висмутотеллуриды платины и палладия, минералы палладия и платины (теларггалит, котульскит, инсизваит, мончеит, меренскиит, майчнерит, стибнопалладинит, мертиит-I и др.) [5]. МПМ наблюдаются как в виде отдельных мономинеральных зерен, так и в виде срastаний. Срastания часто имеют зональное строение и представлены тремя-четырьмя МПМ сходного состава: куперит (центр)-брэггит (промежуточная зона)-хараедахит (кайма) (табл. 3). Характерными являются также срastания котульскит-теларггалит, строение которых явно свидетельствует о развитии теларггалита по котульскиту с привнесом серебра и разной степени замещения котульскита в разных участках.

Зональные сростания МПМ встречаются и в существенно валле-риитовых рудах, приуроченных к участкам интенсивного проявления метасоматоза. Развитие каймы изомергита по минералу  $Pd_{11}(Sb, Sn, As)_4$  свидетельствует о выносе Sn и привносе As в ходе поздних преобразований (табл. 4).

Относительно способа образования (и времени кристаллизации) МПМ пока не существует однозначного ответа, хотя большинство исследователей разделяет мнение о доминирующей роли сульфидного расплава как коллектора платиновых элементов в процессе формирования сульфидных медно-никелевых месторождений. Наиболее распространена точка зрения о концентрации платиноидов вместе с Bi, Te, Sn, As и Sb в остаточном расплаве после кристаллизации основных рудных минералов и о значительной роли мобилизации, перераспределения и концентрации ЭПГ с помощью гидротермальных растворов.

Данные по характеру выделений и составу МПМ вкрапленных руд норильских месторождений позволяют считать, что они кристаллизовались непосредственно из капель сульфидного расплава, отделенного от силикатного расплава. Это куперит и изоферроплатина, образующие мономинеральные выделения в сростании с моноклинным пирротинном. Такая ассоциация может свидетельствовать о высокой фугитивности серы в момент кристаллизации  $PtS$  и  $Pt_3Fe$ . Регулирующая роль в вопросе образования куперита или изоферроплатины принадлежит активности железа в системе [4].

В сплошных рудах дифференциация сульфидного расплава в процессе развития привела к отделению богатой медью сульфидной жидкости, сконцентрировавшей значительные количества Pt, Pd, Te, Bi, Sn, As, Sb и др. "редких" элементов, а также такие летучие компоненты, как хлор. МПМ сплошных руд кристаллизовались из остаточного сульфидного расплава в достаточно широком температурном интервале, позже основных рудообразующих сульфидов. Возможность кристаллизации МПМ-интерметаллидов из хлорсодержащих растворов при температурах порядка 300-400 °C была подтверждена ранее на модельной системе Pd-Sn-Cu-HCl [3].

Составы Pd-Sn фаз, наиболее распространенных в сплошных норильских рудах, отвечают (согласно данным экспериментов) областям  $\lg f_{O_2} = -37$  атм [3]. Pt-Fe сплавы состава тетраферроплатины образуются при  $\lg f_{O_2} = -36.4$  атм и  $\lg f_{S_2} = 14$  атм [4]. Практически в этой же области (для 300 °C) лежит расчетное равновесие Pt-S [10], однако в наших экспериментах ни разу не удалось наблюдать превращений (Pt, Fe) в PtS, по-видимому, из-за значительного количества железа в системе (и его высокой активности).

Образование зональных сростаний МПМ связано скорее всего с взаимодействием ранее образованных МПМ более простого состава с гидротермальными растворами при участии окружающих сульфидов. Часть элементов при этом процессе выносятся из МПМ (Pt),

часть привносится из растворов и окружающих зерна МПМ сульфидов (Cu, Pb и др.). В опытах по изменению состава куперита в хлорсодержащих растворах наблюдалось образование каевок  $Pt_2CuS_4$  и  $Pt_2FeS_4$ . В первом случае в растворы вводилась медь, во втором - железо. Температуры не превышали 350 °C, время - 50 суток. Наблюдалось около 50% замещение куперита новообразованными кристаллами платиновых тиошинелей. Этот процесс близок образованию харапахита - (Cu, Pt, Pb, Fe, Ni, Pd)<sub>9</sub>S<sub>8</sub> - на зернах куперита.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Генкин А.Д. Минералы платиновых металлов и их ассоциации в медно-никелевых рудах норильских месторождений. М., 1968. 106 с.
2. Генкин А.Д., Дистлер В.В., Гладышев Г.Д., Филимонова А.А., Евстигнеева Т.Л., Коваленкер В.А., Лапутина И.П., Смирнов А.В., Гроховская Т.Л. Сульфидные медно-никелевые руды Норильских месторождений. М., 1981. 234 с.
3. Евстигнеева Т.Л., Некрасов И.Я. Успокоения синтеза фаз и минеральных равновесия в системах Pd-Sn-Cu и Pd-Sn-Cu-HCl // Очерки физико-химической петрологии. Т. 10. М., 1980. С. 20-35.
4. Евстигнеева Т.Л., Некрасов И.Я. Экспериментальное изучение термодинамических условий образования соединений Pt (куперита и природных Pt-Fe сплавов) // Тезисы докладов I Всесоюзного симпозиума "Термодинамика в геологии". Суздаль, 1985. С. 101-102.
5. Коваленкер В.А., Лапутина И.П., Вяльсов Л.Н., Генкин А.Д., Евстигнеева Т.Л. Минералы теллура в сульфидных медно-никелевых рудах Тапнахско-го и Октябрьского месторождений (Норильский район) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1972. Т. 11. С. 85-97.
6. Юшко-Захарова О.Е. Платиносодержащие рудные месторождения. М., 1975. 258 с.
7. Юшко-Захарова О.Е., Иванов В.В., Разина И.С., Черняев Л.А. Геохимия, минералогия и методы определения элементов группы платины. М., 1970. 200 с.
8. Cabri L.J., ed. Platinum-Group Elements: Mineralogy, Geology, Recovery // Canad. Inst. Mining Metallurgy. 1981. Spec. Vol. 23. 267 p.
9. Genkin A.D., Evstigneeva T.L. Associations of Platinum-Group Minerals of the Noril'sk Copper-Nickel Sulfide Ores // Econ. Geol. 1986. Vol. 81. P. 1203-1212.

В.Е. Кунилов, А.В. Валетов,  
 В.В. Аршинов

ИЗУЧЕНИЕ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД  
 МЕСТОРОЖДЕНИЙ НОРИЛЬСКОГО ТИПА НА СТАДИИ  
 ИХ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ

Рудную базу Норильского комбината составляют пиквационно-магматические сульфидные месторождения Норильск-1, Талнахское и Октябрьское, руды которых представлены тремя промышленными типами (вкрапленные в интрузиве, сплошные богатые и прожилково-вкрапленные - „медистые“ в экзоконтакте рудоносных интрузивов). По сложности геологического строения вкрапленные руды отнесены к I группе, богатые - ко II, „медистые“ - к III.

Первые же результаты доразведки и опережающей эксплуатационной разведки на месторождениях и фактические данные разработки рудных залежей выявили существенное изменение конкретной геологической ситуации рудной зоны, а в связи со значительными проявлениями тектонических деформаций увязка ряда крупных частей месторождений на стадии детальной разведки скважинами с поверхности оказалась весьма приближенной. Данные по морфологии залежей богатых руд, залегающих непосредственно в интрузиве, практически вовсе исключили возможность их уверенной увязки без горных выработок и густой сети разведочных скважин.

Сопоставление данных разведки и эксплуатации Талнахского рудного узла выявило общую недостаточную информативность, как правило, в полях развития халькопиритовых разновидностей богатых руд и на фланговых участках залежей. При относительно удовлетворительной степени изученности месторождений Талнахского рудного узла с поверхности, при отсутствии участков детализации и опытного сгущения разведочной сети поверхностных скважин многие очень важные геологические позиции были выявлены лишь на стадии рудничной разведки и эксплуатации.

Установлено наличие крупных взбросов в поле рудника „Комсомольский“, в результате чего принципиально изменились интерпретация морфологии южных залежей богатых руд и структура зоны Западных сбросов Центрального грабена, а также понимание тектонической структуры разведываемых участков.

Выявлены зоны интенсивной тектонической нарушенности в полях рудников „Октябрьский“ (шахта 2) и „Таймырский“ в зоне Горного сброса и Большого Горста, обусловленные, вероятно, разгрузкой за участке изменения направления интрузии. Своевременное

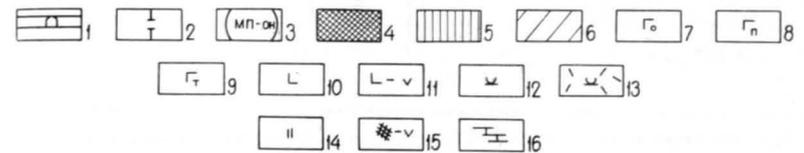
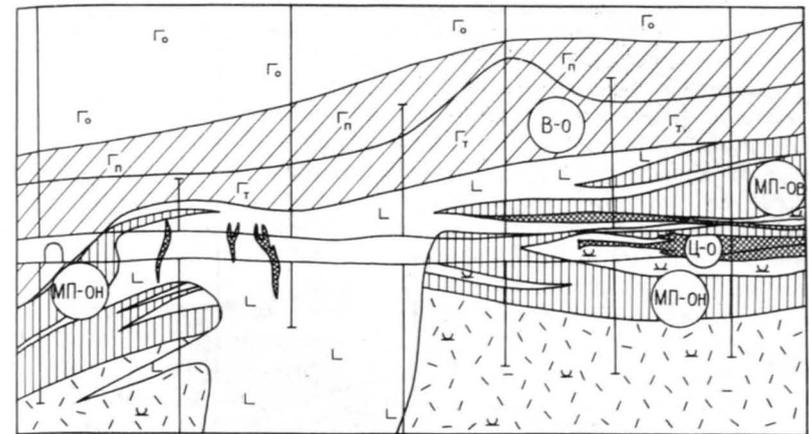


Рис. 1. Геологический разрез Октябрьского месторождения (по разведочному орту 22).

1 - горные выработки и контур отбойки, 2 - разведочные скважины, 3 - индексы рудных тел, 4 - сплошная сульфидная руда, 5 - медистая руда, 6 - вкрапленная руда, 7 - габбро-долерит оливиновый, 8 - габбро-долерит пикритовый, 9 - габбро-долерит такситовый, 10 - долерит, 11 - долерит измененный, 12 - ангидрит, 13 - роговик ангидрит-пироксеновый, 14 - роговик полевошпатовый, 15 - скарн серпентинизированный, 16 - известняк.

выявление этого фактора обеспечивает рациональную подготовку участков к эксплуатации и значительную экономию материальных и финансовых средств.

Впервые выделены и разведаны тела кубанитовых и халькопиритовых (моихукитовых) „высокомедистых“ руд в полях рудников „Октябрьский“ и „Комсомольский“, которые обрабатываются селективно и перерабатываются по малоотходной технологии. Картирование этих руд возможно лишь по результатам доразведки и эксплуатационной разведки.

Изучено взаимоотношение интрузивных тел и оруденения - наиболее интересный вопрос геологического плана, который подтверждает теоретические выкладки о самостоятельном внедрении сульфидной магмы.

На северо-западном фланге Центральной основной залежи богатых руд в поле рудника „Комсомольский“ прослежено дайкообразное

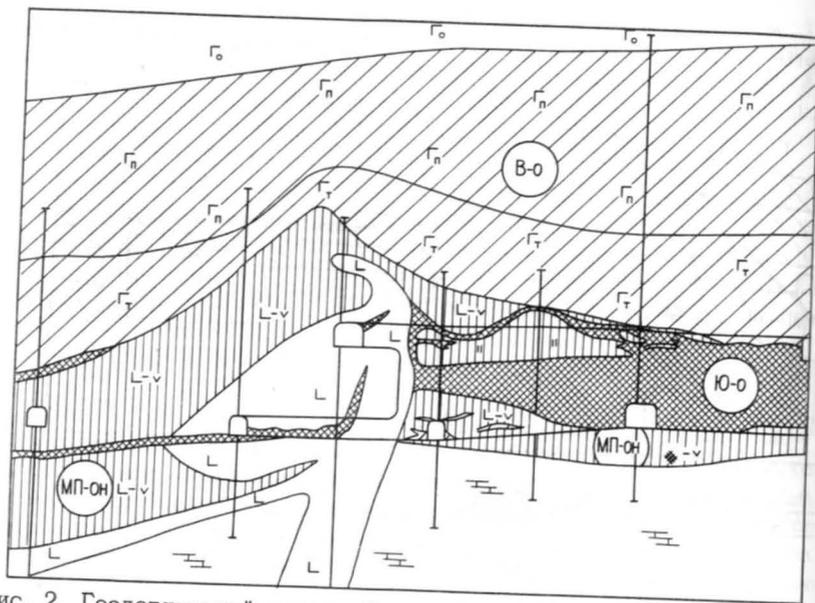


Рис. 2. Геологический разрез Талнахского месторождения (по границе лент 58-59).

Обозначения см. на рис. 1.

тело северо-восточного простирания, которое, вероятно, играло значительную роль в формировании структуры этого участка (рис. 1). Дайка имеет мощность 12-15 м с раздувом в центре до 35 м. Падение дайки изменяется от северо-западного ( $70^{\circ}$ ) на юге через субвертикальное до юго-восточного ( $60-65^{\circ}$ ) на севере. Контакты ее с вмещающими породами имеют неровные очертания, что, видимо, объясняется ее приуроченностью к трещине отрыва. Дайка сложена мелкозернистым долеритом, раскристаллизованным в наиболее мощной части до средне-крупнозернистого. Долерит в приконтактовых участках изменен - ороговикован, скарнирован, хлоритизирован; по трещинам широко развит ангидрит. Оруденение представлено в виде ксеноморфной мелкой, неравномерной вкрапленности халькопирит-пирротинового состава; на измененных участках характерна вкрапленность пирита. В наиболее мощной части дайки отмечаются крутые ветвящиеся прожилки халькопирит-пирротинового состава мощностью до 0,5-0,8 м.

Внедряясь по крутому каналу, долерит „упирался“ в рудоносный интрузив и „растекался“ вдоль его подошвы, образуя субгоризонтальные апофизы, прослеженные по скважинам на 100-150 м от субвертикальной части дайки. Вдоль контакта габбро-долерита такситового с долеритом отмечаются участки серпентинизации, скарнирования.

Иные взаимоотношения долерита с „медистыми“ и богатыми рудами. Горизонты „медистых“ руд (МП-ОН, МП-ОВ) на контакте с

долеритом расщепляются на ряд тел, проникающих в приконтактовую часть долерита. Отмечаются участки скарнирования и серпентинизации с наложенным оруденением и реликтами долерита. Залежь сплошных сульфидов (богатые руды) при подходе к дайке имеет тупое выклинивание (разведочный орт 22) с отдельными тонкими прожилками или расщепляется на серию ветвящихся по трещинам в измененном долерите прожилков (разведочный орт 19).

В процессе разведочных работ не было отмечено, чтобы богатые или „медистые“ руды пересекали дайку. Северо-западнее дайки долерита вскрыты лишь отдельные маломощные (менее 0,5 м) прожилки богатых руд, которые имеют различную ориентировку и не уязвляются в единое рудное тело.

Аналогичная геологическая ситуация наблюдается по горным выработкам Восточного участка рудника „Комсомольский“, в северо-восточной части южной основной залежи богатых руд (рис. 2). Эта дайка долерита обусловила куписообразное расположение Центральной и Южной залежей богатых руд и всей рудной зоны. Вторичные изменения вмещающих дайку пород по нижним горизонтам проявлены очень слабо и не превышают 10-15 см.

На основе указанных фактов можно сделать вывод, что внедрение дайки происходило после образования дифференцированного интрузива, но до возникновения богатых руд, т.е. образование богатых руд оторвано во времени от внедрения дифференцированного интрузива. Формирование горизонтов „медистых“ руд представляет много-стадийный процесс, на который в значительной степени влияло становление залежей богатых руд. Это проявляется, в частности, в тесной унаследованности соотношений металлов в „медистых“ и нижней части вкрапленных руд в зависимости от минерального состава соответствующих залежей богатых руд.

Еще один момент, который с нашей точки зрения имеет существенное геологическое значение, - это морфо-структурная позиция „медистых“ руд. Например, в поле рудника „Октябрьский“ в пределах вскрытой и охваченной рудничной разведкой части горизонта „медистых“ руд отмечаются „карманы“ и перепады, меняющие мощность рудного тела в 3-4 раза на расстоянии 15-20 м, ступенчатые переходы оруденения из горизонта в горизонт. Наблюдается связь размещения „ореольного медистого“ оруденения с литологией вмещающих пород и унаследованными зонами дробления, однако эта связь очень сложная. Проводя геологическую аналогию на более высокие уровни, можно предположить, что геохимические аномалии от подобных объектов на глубинах более 1 км при наличии в перекрывающем разрезе контрастных по проницаемости пород, в том числе глинистых, хемогенных, которые служат „упором“, карбонатных, которые являются хорошими „реагентами“, а также мощных тектонических зон, могут быть крайне неоднородны и смещены на значительные расстояния в любом направлении. Поэтому геохимия, по нашему мнению, представляется малоэффективной для локального прогноза.

Разнообразие типов и пестрота минерального состава, изменчивость химизма, а следовательно непостоянство качественно-технологических параметров руд, добываемых на различных участках месторождений, предопределили на стадии их промышленного освоения доизучение вещественного состава технологических свойств и создания на этой основе геолого-технологической типизации руд с последующей их геометризацией на известных месторождениях Норильского района.

На базе материалов опережающего технологического опробования по скважинам подземной разведки и валовым пробам руд из горных выработок на рудниках Талнаха создается накопительный банк признаков природных и технологических типов (сортов) руд, который послужит основой для проведения планомерного геолого-технологического картирования всех типов руд на месторождениях.

Таким образом, роль рудничной геологии в деле отображения и познания месторождения является весьма важной. Как говорил еще в 40-е годы В.К. Котульский, на рудничном геологе лежит обязанность изучать месторождение с целью выяснения его происхождения, ибо только изучение месторождения при его разработке может дать полные данные для его понимания, на основе которого вырабатываются идеи поисков и разведок. В последние годы в связи с повсеместным увеличением глубины добычи рудного сырья центр тяжести разведки и изучения месторождений все более смещается в сторону рудничной геологии. Добиться достаточно полной и достоверной информации, необходимой для понимания структуры и условий формирования месторождения, проектирования и строительства горных и обогатительных предприятий, без привлечения рудничной геологии уже невозможно.

В.М. Павлоцкий

#### ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ЗАЛЕЖИ БОГАТЫХ РУД РУДНИКА „ТАЙМЫРСКИЙ“

Рудник „Таймырский“ обрабатывает участок пластообразной залежи богатых сульфидных медно-никелевых руд. Залежь локализована в осадочных метаморфизованных породах курейской свиты, в подошве дифференцированного интрузива. В кровле, подошве и на флангах залежи в метаморфизованных породах отмечаются участки прожилково-вкрапленного оруденения. Нижние дифференциаты интрузива – пикритовые и такситовые габбро-допериты – несут вкрапленное оруденение. Геологическое строение месторождения описано в литературе [1, 2].

При документации керн разведочных скважин нами была предпринята попытка повысить точность определения среднего содержания полезного компонента в блоках подсчета запасов богатых пирротиновых руд за счет выделения достоверных интервалов устой-

чивых содержаний металлов. На первом этапе были выделены три разновидности, входящие в контур богатых балансовых руд. Первая объединяла ксенолиты оруденелых и слабооруденелых пород с мощностью интервала 0,1 и более метра; вторая – интервалы брекчиевидных руд с размерами ксенолитов до 10 см и общим их содержанием от 25 до 50% на интервал; третья – сплошные руды с содержанием силикатов и магнетита не более 5% на интервал, причем внутри не должно было присутствовать ни одного интервала мощностью 10 см и более, содержащего силикатов и магнетита более 5%. Опробование по этой методике показало, что содержание металлов в выделенных разновидностях руд значительно отклонялось от среднего значения по блоку.

В процессе документации было подмечено, что петельчатые гигантозернистые руды на 80% сложены крупными (более 5 см) кристаллами пирротина, окруженными петлями халькопирита толщиной 3–15 мм. Реже, при повышении содержания халькопирита, он образует также линзообразные обособления по трещинам отдельности. Магнетит образует гнезда или скопления в промежутках зерен пирротина, отмечается также в виде единичных зерен в пирротине. Силикаты встречаются только в промежутках зерен рудных минералов. Мощность гигантозернистых руд по некоторым скважинам достигает двух третей мощности рудного тела, внутри их повсеместно отмечается несколько прослоев мощностью до 2,5 м мелкозернистых руд с включениями силикатов различного размера вплоть до интервалов оруденелых пород мощностью 0,1–0,5 м. Границы таких участков всегда резкие, часто извилистые и практически всегда сопровождаются магнетитовой оторочкой до 3–5 мм.

Брекчиевидные руды выделялись в отдельную разновидность, чтобы вычленив из всего объема богатых руд с минимальным значением и максимальной дисперсией содержаний полезных компонентов. Сюда же включены прожилки сульфидных руд в метаморфических и интрузивных породах. В сульфидном цементе всегда присутствуют мелкие (до 5 мм), равномерно распределенные силикатные включения, а также порфириовидные и прожилкоподобные обособления крупных зерен пирротина размером от 5 до 15 мм. По содержанию силикатов можно глазомерно оценить содержание металлов в пробе (при увеличении размера зерен пирротина уменьшается количество силикатов), а по изменениям размера зерен пирротина перейти к расчленению руд на разновидности с устойчивыми средними содержаниями.

Границы между разнозернистыми разностями сплошных руд сопровождаются цепочками зерен магнетита. Переход от одной разновидности к другой происходит в интервале от первого десятка миллиметров до одного метра. Наибольшие зоны постепенного перехода отмечены на границах гигантозернистых руд.

Выявленные особенности строения богатых пирротиновых руд позволили выделить еще три текстурно-структурные разновидности.

1. Крупнозернистые руды – содержат до 10% магнетита и силикатов; не менее 80% зерен пирротина имеют размер от 30 до

50 мм, границы зерен извилистые, вогнуто-выпуклые. Текстура руд петельчатая. Пирротин не содержит никаких включений, кроме единичных зерен магнетита.

2. Мелкозернистые руды – содержат до 25% магнетита и силикатов; не менее 80% зерен пирротина имеют размер до 3 мм; текстура пятнистая за счет скоплений халькопирита и силикатов.

3. Полигональная руда – отмечается всегда в мелкозернистых рудах в виде прожилков переменной мощности (до 2 м) с резкими, секущими контактами. Сложена агрегатом зерен пирротина размером от 5 до 25 мм. Практически все зерна выпуклые, без каких-либо включений. Промежутки между ними заполнены агрегатом силикатов и халькопирита. Весьма характерна трехлепестковая форма обособлений силикатов на стыке зерен пирротина. Отношение меди к никелю в полигональной руде составляет 0,3–0,9 против 1,2 в среднем по залежи.

Залежь богатых руд в верхней прикровельной части сложена преимущественно мелкозернистой рудой с редкими прожилками полигональной и среднезернистой руды и содержит большое количество ксенолитов оруденелых пород (местами до 50%). Эта часть залежи характеризуется пониженными содержаниями металлов (в 1,5–2,0 раза) и меньшим отношением меди к никелю. Мощность ее плавно возрастает от нуля в центре до полной мощности на северном и южном флангах. Центральная и припочвенная части залежи, составляющие в целом около 75% ее объема, могут быть представлены как горизонт гиганто- и крупнозернистых руд, «нафаршированных» «ксенолитами» оруденелых пород (до 5%), мелкозернистых и брекчиевидных руд (до 10%). Приведенные данные свидетельствуют о разрыве во времени между образованием мелкозернистых и гигантозернистых руд, о более позднем возникновении последних.

Наличие петельчатой текстуры, являющейся результатом собирательной перекристаллизации пирротина, также свидетельствует о более позднем образовании гигантозернистых руд, по-видимому, в пегматитовую стадию процесса их формирования, аналогично образованию горизонта такситовых габбро-долеритов [2]. Особенно веским аргументом наличия пегматоидной стадии в формировании богатых руд являются секущие прожилки полигональной руды.

Прожилково-вкрапленное оруденение во вмещающих породах представлено субпараллельными прослоями следующих типов: 1) мелкозернистыми забалансовыми рудами, 2) мелко- и среднезернистыми (до 5 мм) густовкрапленными балансовыми рудами, 3) так называемыми рудными метасоматитами, представляющими собой тонкозернистые породы с густой тонкодисперсной «пропиткой» сульфидами с содержанием их около 30–60%, 4) прожилками сплошных и брекчиевидных руд.

Мощность оруденелых прослоев изменяется от 2–5 мм до 1,5 м; контакты их резкие, иногда секущие полосчатость метаморфических пород. Состав прожилково-вкрапленного оруденения в кровле богатых руд халькопирит-пирротинный, в почве – пирротин-халькопиритовый.

Переход богатых руд к вышележащим прожилково-вкрапленным рудам характеризуется постепенным увеличением плотности ксенолитов оруденелых пород в сульфидной руде, так что по большинству скважин весьма трудно судить, где кончаются сплошные сульфидные руды с ксенолитами и начинаются вкрапленные руды с прожилками сплошных сульфидов. Такая зона перехода может составлять от 1–2 до 15 м. Но тем не менее верхний контакт сплошных руд носит секущий характер, визуалью хорошо прослеживается и при вскрытии горными выработками, несмотря на обилие апофиз в прожилково-вкрапленное оруденение, фиксируется однозначно. Ксенолиты пород в богатой руде по составу и характеру минерализации не отличаются от прожилково-вкрапленного оруденения. Они имеют пластинообразную форму с размерами до 2х30 м в поперечном сечении, ориентированы параллельно полосчатости.

В заключение отметим некоторые особенности пегматоидных прожилков в богатых рудах (полигональная руда), прожилково-вкрапленных экзоконтактовых рудах и габбро-долеритах. Сульфиды и силикаты внутри прожилка обычно перекристаллизованы, что свидетельствует о значительных затратах теплоты. При этом ни вмещающие породы, ни рудные минералы в них почти не изменены; по-видимому, внутри прожилка в момент его образования существовал постоянный приток тепла, которого хватало и на расщепление, и на перекристаллизацию, хотя никаких следов механических перемещений внутри прожилка не устанавливается. Таким источником тепла мог быть высокотемпературный газ – водород, превращенный в конце рудообразующего процесса в воду. В связи с изложенным представляется целесообразным проверить возможность применения газо-водородной съемки для поисков слепых рудных тел.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Генкин А.Д., Дистлер В.В., Гладышев Г.Д., Филимонова А.А., Евстигнеева Т.Л., Коваленкер В.А., Лапутина И.П., Смирнов А.В., Грховская Т.Л. Сульфидные медно-никелевые руды Норильских месторождений. М., 1981. 234 с.
2. Золотухин В.В., Рябов В.В., Васильев Ю.Р., Шатков В.А. Петрология Талнахской рудоносной дифференцированной трапповой интрузии // Труды ИГиГ, вып. 186. Новосибирск, 1975. 432 с.

### ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ГЕОДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОБРАЗОВАНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ НОРИЛЬСКОГО РАЙОНА

В разрабатываемой модели формирования и локализации медно-никелевых месторождений Норильского района сделана попытка ответить на следующие кардинальные вопросы, определяющие суть обсуждаемой проблемы: 1) источник никеля, кобальта, меди; 2) источник других компонентов – серы, воды и галогенидов, без которых не могло происходить экстрагирование рудных элементов и соединений из магматических расплавов и вмещающих пород, а также механизм поступления полезных компонентов в рудное тело; 3) геодинамические условия локализации рудоносных интрузий и уровни аккумуляции рудного вещества имея в виду этап формирования месторождений и «законсервированные» глубинные промежуточные рудоносные очаги.

**Источники рудных компонентов.** Источником никеля и кобальта в медно-никелевых месторождениях района, как полагают практически все исследователи, являются базит-гипербазитовые магмы. Эта точка зрения, которую разделяем и мы, обосновывается тем, что магнезиальные базиты рудоносных и нерудоносных интрузий, а также эффузивов Норильского района характеризуются изначально высокими концентрациями никеля и кобальта, достигающими соответственно 1200 (и более) и 90 г/т. Как показывают соответствующие расчеты, таких содержаний никеля и кобальта вполне достаточно для образования месторождений Норильского района. Вместе с тем содержание меди в базит-гипербазитовых телах Норильского района более чем на порядок ниже. В связи с этим возникают сомнения о достаточности таких концентраций меди для образования крупных месторождений рассматриваемого района. Вот: почему некоторые исследователи предполагают, что источником меди должны служить не гипербазитовые, а базитовые магмы, а также глубинные флюидные потоки [10]. Выдвигаются также представления о том, что все рудные компоненты (никель, кобальт, медь, платиноиды) привнесены глубинными флюидными потоками [14].

В отношении меди нами выдвигается иное решение проблемы. Мы считаем, что существенным источником меди в месторождениях Норильского района наряду с силикатными магмами являются меденосные шельфовые толщи Игарско-Норильского нижнепротерозойского зеленокаменного трога в фундаменте рассматриваемого региона (рис. 1). Фрагменты зеленокаменного трога, представленные сложнодеформированными вулканогенно-осадочными образованиями, вскрываются в Игарском выступе. Продолжение докембрийского зеленокаменного трога в Норильском районе отчетливо трассируется по геофизическим материалам, в первую очередь – по данным магнито-теплурического зондирования, в виде узкой зоны высокой

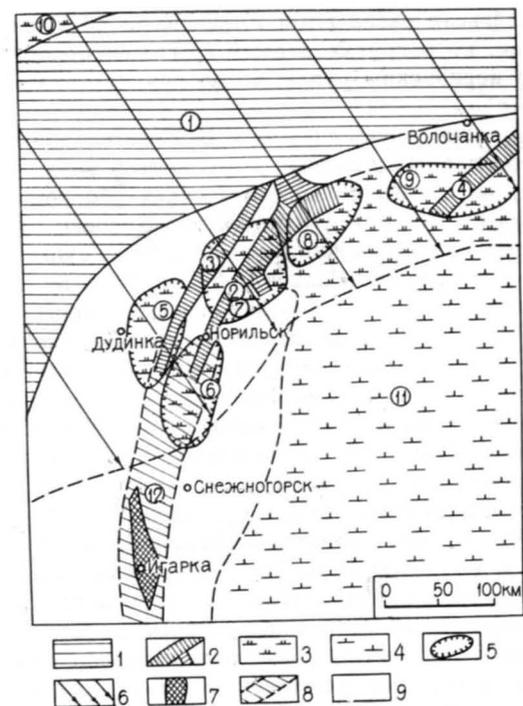


Рис. 1. Геодинамическая модель Норильского района.

1 – трог крупных рифтов (возможно, с корой океанического типа); 2 – трог побочных малых рифтов; 3 – контрастные по составу водонасыщенные траппы; 4 – стандартные толеитовые платобазальты; 5 – контуры вулканических мульд; 6 – зона позднепермского поддвига океанической коры Таймырского палеобассейна в связи с коллизией Сибирской платформы с Таймыро-Североземельской областью; 7–8 – нижнепротерозойский зеленокаменный пояс: 7 – выходы на дневную поверхность; 8 – скрытый на глубине; 9 – чехол внутриконтинентальных шельфов и аккумулятивных равнин. Цифры в кружках – тектонические структуры: 1 – Енисей-Хатангский палеорифт; 2–4 – малые рифтовые трогги: 2 – Хараелахский, 3 – Пясинский, 4 – Авамский; 5–9 – вулканогенные мульды: 5 – Вологочанская, 6 – Норильская, 7 – Хараелахская, 8 – Иконская, 9 – Авамская; 10 – Южно-Таймырская зона; 11 – плато Путорана; 12 – Игарско-Норильский зеленокаменный пояс.

проводимости (более 10 тыс. сименс). В Игарском районе терригенные толщи лудовской и губинской свит характеризуются повышенными содержаниями меди, достигающими 400 г/т [2], а также имеются самостоятельные месторождения меди. Предполагается, что терригенные толщи, магматические образования и рудные месторождения докембрийского зеленокаменного трога при ремобилизации их

перегретыми мантийными расплавами и флюидами служили источником не только меди, но и других рудных компонентов, которые придают уникальность норильским рудам по набору извлекаемых элементов.

Источники серы, воды, галогенидов. Как известно, основными механизмами экстрагирования рудных компонентов (никеля, кобальта, меди и других) из силикатов магматических расплавов и пород, а также из вмещающих толщ и формирования крупных рудных месторождений Норильского района являются процессы сульфуризации и гидротермального перераспределения [3, 10, 16 и др.].

Изначальное содержание серы в базит-гипербазитовых породах рассматриваемого региона относительно невелико и находится в пределах кларковых концентраций. Вместе с тем содержание серы в промышленно рудоносных интрузиях, как правило, превышает 2-3%, что на один-два порядка больше ее предельной растворимости в базит-гипербазитовых расплавах. Установлено, что в нерудоносных интрузиях соотношение легких и тяжелых изотопов серы незначительно отличается от метеоритного стандарта, тогда как для рудоносных интрузий Норильского района характерно значительное (на 9-10%) обогащение тяжелым изотопом серы [3, 5-7]. Наиболее удовлетворительно это явление, как считает большая часть авторов, может быть объяснено значительной ассимиляцией серы из коровых источников. В частности, на это указывает почти прямолинейная зависимость между общим и коровым компонентами серы, характерная для рудоносных интрузий и рудных месторождений Норильского района [3].

Существует мнение о том, что на северо-западе Сибирской платформы главными коровыми источниками являются сульфатные толщи нижнего-среднего палеозоя и сероводород нефтегазовых залежей [5-7] или углеродистые толщи нижнего палеозоя и верхнего протерозоя [18]. Возможны и другие источники ее. На них мы укажем ниже.

Существенную роль в образовании медно-никелевых месторождений Норильского района совместно с серой играли вода и галогениды. На это указывают многие признаки и в первую очередь высокая водонасыщенность интрузивных и эффузивных пород как гипербазит-базитового, так и толеитового состава. Содержание кристаллизационной воды (п.п.л.) колеблется от 2 до 6% и составляет в среднем 3-4%, или почти на порядок больше, чем в стандартных траппах. Большой разброс значений характерен для эффузивных траппов, меньший - для интрузивных (рис. 2).

Рассмотрение опубликованных силикатных анализов интрузивных и эффузивных траппов показывает, что в сибирских траппах водонасыщенность не обнаруживает четкой связи ни с содержанием щелочей, ни с магнезиальностью, ни с кремнекислотностью. Однако она хорошо коррелируется с содержанием закисного железа, что находится в полном соответствии с концепцией Дж. Кеннеди [12] о роли воды в эволюции магматических систем. В частности, о значительном участии воды в формировании магматических пород

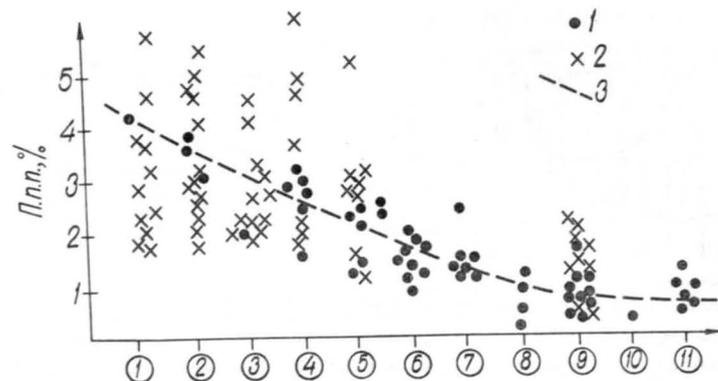


Рис. 2. График потерь при прокаливании (п.п.л.) или воды и углекислоты в траппах разных частей Тунгусской синеклизы.

1 - в интрузиях дифференцированных и недифференцированных траппов, 2 - в эффузивных траппах; 3 - линия тренда. Цифры в кружках - районы траппового магматизма: 1-5 - Норильский район (1 - север Хараелахской мульды, 2 - юг Хараелахской мульды, 3 - Вологодчанская мульда, 4 - север Норильской мульды, 5 - юг Норильской мульды); 6 - р. Курейка, 7 - р. Маймечя; 8 - р. Мойеро; 9 - р. Нижняя Тунгусска; 10 - р. Ангара; 11 - р. Вилпой.

Норильского района говорят особенности дифференциации, более близкие к боуэновскому тренду, чем феннеровскому [13].

Анализ площадного распространения водонасыщенности траппов на Сибирской платформе позволил установить следующую их особенность. Водонасыщенные траппы характерны не только для Норильского района, но и для всего северо-западного края Сибирской платформы. При этом количество воды закономерно убывает с северо-запада на юго-восток, и во внутриконтинентальных зонах (рр. Ангара, Вилпой) водонасыщенность траппов не превышает 1% (рис. 2). В связи с этим возникает вопрос о причинах локализации водонасыщенных траппов вдоль северо-западного края Сибирской платформы, а также на Южном Таймыре. Ответ на него дают палеогеодинамические реконструкции, свидетельствующие, что к западу и северу (в современных координатах) от Норильского района в палеозое существовали Западно-Сибирский (Уральский) и Таймырский океанические бассейны [11].

В позднем палеозое в результате коллизии Сибирской платформы с Русской и Таймыро-Североземельским (Карским) континентальным блоком (частью Гиперборейской платформы) некоторые части Западно-Сибирской и Таймырской океанических плит были пододвинуты под северо-западный край Сибирской платформы. В результате этих коллизионных процессов в мантию северо-запада Сибирской платформы были затянуты большие объемы гидратированных океани-

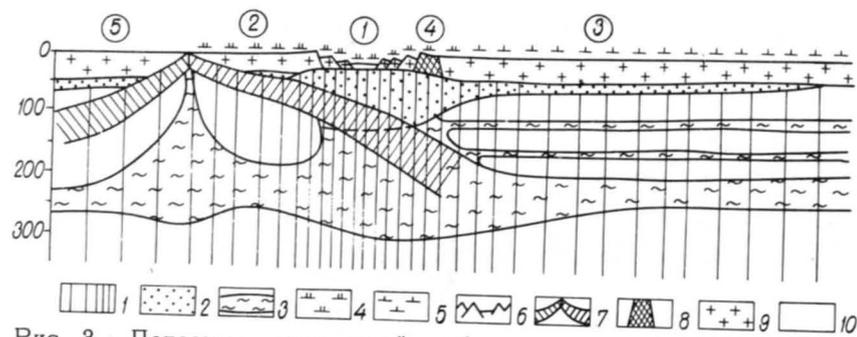


Рис. 3. Палеогеодинамический профиль через северо-западную часть Сибирской платформы и Таймыро-Североземельскую область (ранний триас).

1 - флюидный поток мантийного плюмажа (плотность линий соответствует интенсивности флюидного потока), 2 - глубинный промежуточный очаг трапповых магм, 3 - зоны частичного плавления мантии, 4 - водонасыщенные траппы, 5 - „сухие“ (стандартные) траппы, 6 - рифтовые трогои, 7 - зоны позднепалеозойского поддвига океанической плиты Таймырского бассейна в связи с коллизией Сибирской платформы с Таймыро-Североземельской областью, 8 - нижнепротерозойский зеленокаменный пояс, 9 - архейская континентальная кора, 10 - мантия. Цифры в кружках - тектонические структуры: 1 - Енисей-Хатангский палеорифт, 2 - Южно-Таймырская зона, 3 - плато Пutorана, 4 - Игарско-Норильский зеленокаменный пояс, 5 - Северо-Таймырская зона Таймыро-Североземельской области.

ческих магматических пород и осадков, которые и представляли собой главный источник воды, серы и галогенидов, насытивших во время формирования сибирских траппов трансмагматические флюидные потоки. Зона влияния (активного воздействия) поддвига океанической плиты трассируется на поверхности распространением водонасыщенных траппов (рис. 3). На профилях глубинного сейсмического зондирования [1 и др.] зона субдукции океанических плит под Сибирскую платформу усматривается нами по сгущениям пологонаклонных площадок сейсмической расслоенности низов коры и верхней мантии.

Необходимо добавить, что галогениды и сера поступали, кроме того, из соленосных и черносланцевых толщ венда и нижнего палеозоя при промывке их конвейером вадозных вод.

**Локализация рудоносных интрузий.** Контрастные по составу базит-гипербазитовые, субщелочные и толеитовые интрузивные и эффузивные формации Норильского района по петрохимическим и геохимическим особенностям весьма близки к магматитам современных рифтовых областей [4, 8, 9].

Анализ геологических материалов показывает, что рудоносные интрузии Норильского района приурочены к Хараелахскому и Пясин-

скому малым (шириной 10-20 км и протяженностью 100-200 км) палеорифтам, являющимся ответвлениями от главного Енисей-Хатангского палеорифта. При этом зона рифтогенного магматизма примерно в четыре раза превышает поперечник рифтов.

Малые рифтовые трогои в рассматриваемом регионе обособляются как по структурным особенностям, так и по геофизическим данным. Наиболее хорошо изученный Хараелахский рифт представляет собой асимметричный грабен с амплитудой смещения по главному Норильско-Хараелахскому разлому до 400 м. В грабене картируются многочисленные малоамплитудные и выполаживающиеся на глубине разрывы [13, 17]. Судя по морфологии и кинематике они являются типичными литрическими сбросами, характерными для рифтовых зон, образующихся в условиях горизонтального растяжения [15, 19]. Указанные рифтовые трогои картируются по электроразведочным материалам в виде желобов в подошве вулканогенного траппового комплекса. На профилях ГСЗ их положение маркируется по зонам утонения континентальной коры и выпячивания мантии.

Относительно стабильное состояние палеорифтов как открытой системы в условиях длительного сохранения горизонтального растяжения создавало необходимые предпосылки для образования высокого градиента давления (декомпрессии), продуцировавшего сравнительно быстрый вынос базитового расплава в верхние этажи. Только в условиях такого длительно существовавшего динамического режима могло осуществляться многократное воздействие насыщенных серой, галогенидами, водой и рудоносными компонентами мантийных и коровых флюидов на магматические камеры. В результате этого происходили глубокие метаматические преобразования рудоносных базит-гипербазитовых интрузий и формирование богатых медно-никелевых месторождений [10], а также обширных, мощностью до 200 м, метаморфических ореолов, не соизмеримых с мощностями интрузивных тел.

Участки длительного сохранения полей горизонтального растяжения приурочиваются обычно к местам зарождения рифтов или конусовидных их окончаний. Они располагаются в виде дискретных расположенных четковидно ячеек. Поскольку зоны растяжения формируются при сочетании раздвига и ротации, они имеют прямоугольную или ромбовидную форму. Именно такие локальные зоны внутри рифтовых трогов наиболее благоприятны для внедрения рудоносных интрузий, многократной проработки флюидными потоками и формирования промышленных концентраций в рудных телах.

Известный интервал формирования и локализации медно-никелевых месторождений Норильского района охватывает толщи от силура-девона до триаса. Аккумуляция рудного вещества в верхних частях осадочного разреза и низах траппового комплекса в первую очередь связана с физическими особенностями приповерхностного этажа - низкой плотностью, высокой пористостью.

По сугубо предварительным оценкам должны быть и глубинные этажи рудоносных тел, располагающиеся в интервалах 5-6 и 8-12 км. Эти интервалы определяются резким увеличением открытой или эф-

фективной пористости в зонах, где поровое давление флюидов превышает литостатическое. Возможно наличие и более глубоких этажей глубинных „аккумуляторов“. Промежуточные магматические очаги являлись, как и гипабиссальный очаг, теми магматическими камерами, в которых происходила дифференциация расплавов с выделением магм, богатых сульфидами, вплоть до промышленных концентраций. Однако нельзя полностью исключать разделение на самостоятельные сульфидную и силикатную жидкости и на мантийном уровне. На элементы магматической дифференциации рудоносных интрузий Норильского района указывают некоторые петрологические данные, например материалы парагенетического анализа продуктов протокристаллизации [13, 14]. В промежуточных магматических очагах происходили ассимиляция и контаминация расплавов, обогащение их тяжелыми изотопами серы, а также медью и другими рудными компонентами из вероятных стратиформных месторождений зеленокаменного трога.

Сочетание комплекса благоприятных условий – рифтовых трогов (зон повышенной проницаемости, мантийных флюидов и расплавов, обогащенных никелем и кобальтом, наибольшей степени плавления мантии), зон поддвига океанической коры (источника воды, серы, галогенидов), зеленокаменного трога в фундаменте северо-запада Сибирской платформы (основного источника меди и других компонентов) – во времени и пространстве создало благоприятные условия для образования уникальных сульфидных медно-никелевых месторождений Норильского района.

Анализ топологии зон поддвига и полей тектонических растяжений свидетельствует о том, что основные объемы гидратированных океанических пород был подвергнуты плавлению в глубинных магматических очагах, самые глубокие из которых располагались в районах малых палеорифтов. В зоне главного Енисей-Хатангского палеорифта существовали менее глубинные очаги. В этом районе, расположенном за пределами зеленокаменного трога, сформированные рудные месторождения по качеству и количеству рудных сульфидных компонентов должны отличаться от Норильских. Они скорее всего будут близкими к месторождениям печенгского или канадского типов.

Богатые медью протерозойские шельфовые толщи удоканского типа можно прогнозировать севернее Игарского выступа в зоне погружения зеленокаменного трога под нижнепалеозойские отложения и в зоне сопряжения его с Ергалахской структурой, т.е. там, где экраны обеспечивали промышленные концентрации меди. В Игарском районе в коматиитовых сериях зеленокаменного пояса возможно открытие древних медно-никелевых руд типа канадских.

Предлагаемая предварительная модель требует проверки и уточнения геологическими и геохимическими методами, а также путем физико-химического и математического моделирования. При подтверждении этой качественной модели количественными методами возможен локальный прогноз новых крупных месторождений сульфидных медно-никелевых руд.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисов Г.П., Голубков В.С. Глубинное строение центральной части Норильского рудного района по данным МОВЗ-ГС // Сов. геология. 1984. № 10. С. 86–94.
2. Акульшина Е.П. Глинистое вещество и осадочный рудогенез. Новосибирск, 1985. 345 с.
3. Альмухамедов А.И., Медведев А.Я. Геохимия серы в процессе эволюции основных магм. М., 1982. 148 с.
4. Альмухамедов А.И., Медведев А.Я. К геохимии инициальных стадий базальтового вулканизма // Геохимия вулканических различных геодинамических обстановок. Новосибирск, 1986. С. 49–69.
5. Гриненко Л.Н. Генетическая модель формирования сульфидных медно-никелевых месторождений на основании изотопно-геохимических данных // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Т. 1. Новосибирск, 1985а. С. 76–78.
6. Гриненко Л.Н. Источники серы никеленосных и безрудных интрузий габбро-доперитов на северо-западе Сибирской платформы // Геол. рудн. месторождений. 1985б. № 1. С. 3–15.
7. Гриненко Л.Н., Степанов В.К. Изотопные соотношения и содержание серы в дифференцированных интрузиях Имандинского рудного узла // Геохимия. 1985. № 10. С. 1406–1416.
8. Дистлер В.В., Дюжиков О.А., Тарасов А.В. Норильский рудный район // Глубинное строение и условия формирования эндогенных рудных районов, полей и месторождений. М., 1983. С. 103–129.
9. Дюжиков О.А. Енисейско-Оленёкский рудный пояс севера Сибирской платформы // Геол. рудн. месторождений. 1985. № 3. С. 18–33.
10. Золотухин В.В., Малюк Б.И. О генезисе сульфидных медно-никелевых месторождений // Геология и геофизика. 1985. № 10. С. 61–78.
11. История развития Уральского палеоокеана. М., 1984. 164 с.
12. Кеннеди Дж. О роли воды в магме // Земная кора. М., 1957. С. 505–519.
13. Магнезиальные базиты запада Сибирской платформы и вопросы никеленосности / В.В. Золотухин, А.М. Виленицкий, Ю.Р. Васильев и др. Новосибирск, 1984. 225 с.
14. Олейников Б.В. Геохимия и рудогенез платформенных базитов // Новосибирск, 1979. 264 с.
15. Паталах Е.И. К проблеме пистрических разломов // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1986. № 11. С. 113–120.
16. Петрологические особенности и прогнозное районирование никеленосных трапповых полей севера Красноярского края / А.И. Архипова, Д.А. Додин, М.К. Иванов и др. Л., 1983. 144 с.

17. Петрология и рудоносность Талнахских и Норильских дифференцированных интрузий. Л., 1971. 312 с.

18. Урванцев Н.Н. Генетические особенности формирования медно-никелевых месторождений Норильска как основа поисковых прогнозов // Геология и геофизика. 1973. № 1. С. 3-12.

19. Shelton J.W. Listric normal faults: an illustrated summary // AAPG Bull. 1984. Vol. 68, No 7. P. 801-815.

Н.В. Межеловский, Д.И. Мусатов,  
Л.Л. Тарновецкий, Е.Д. Черный

### НОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД В НОРИЛЬСКОМ ГОРНОРУДНОМ РАЙОНЕ НА ОСНОВЕ ТЕКТониКИ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ

В настоящее время разработана отраслевая научно-техническая Геодинамическая программа Мингео СССР, реализуемая на опытных геодинамических полигонах, увязанных в единую систему со сверхглубокими скважинами и геотраверсами. Одним из шести первоочередных полигонов является Норильско-Игарский. Для комплексного изучения полигонов разработана новая методология геологических исследований – геодинамический анализ, который на Норильско-Игарском полигоне позволяет следующее: реконструировать геодинамические обстановки и структуры; переосмыслить геологическое строение района и дать региональный прогноз; разработать модели механизма образования крупных месторождений в конкретных геодинамических обстановках; дать локальный прогноз для поисков месторождений.

Перечисленные задачи решаются на базе предварительной геодинамической модели Норильского района и модели механизма образования крупного медно-никелевого месторождения норильского типа, предложенных на основе теории тектоники литосферных плит (см. ст. Д.И. Мусатова и др. в настоящем сборнике).

Теоретические и модельные основы новой методологии и технологии прогнозирования. В прогнозировании и поисках месторождений в геологии до сих пор доминирует индуктивный метод познания (от простого к сложному), когда сравниваемые детали объединяются в крупные единицы, а сопоставление частей позволяет переходить к обобщению, устанавливая при этом статистические и эмпирические закономерности геологического строения или геологических процессов.

Между тем в естественных науках давно и успешно применяется дедуктивный метод познания, который позволяет наметить общую стратегию решения проблемы, быстрее и эффективнее решить основ-

ную задачу. Применение этой методологии в геологии стало возможным в связи с созданием количественной теории геологических процессов – тектоники литосферных плит. Этот метод является определяющим при геодинамическом анализе – когда сложный объект можно расчленить на составные элементы и, абстрагировавшись от деталей, выделить объект по признакам, только ему принадлежащим.

Нам представляется, что научно-обоснованное региональное и локальное прогнозирование должно проводиться с помощью геодинамического анализа по материалам глубинного прогнозно-геодинамического картирования (ГПК). Методический принцип ГПК основан на системном подходе:

– моделирование обстановок и процессов на базе теоретических представлений тектоники литосферных плит, обобщение и переинтерпретация имеющихся фактических материалов;

– эмпирическая проверка следствий моделирования геодинамических обстановок с помощью полевых и лабораторных исследований;

– доработка и уточнение моделей, их разбраковка;

– разработка новых моделей, повторная проверка следствий модельных построений.

При этом процесс прогнозирования в технологии ГПК на полигоне включает ряд стадий: а) разработку предварительных геодинамических моделей района и механизма образования крупного сульфидного медно-никелевого месторождения – региональный прогноз потенциального рудного района; б) разработку геодинамических моделей перспективных участков с уточнением модели механизма образования месторождений в конкретных геодинамических обстановках – локальный прогноз перспективных участков в пределах потенциального рудного района; в) проверку локального прогноза и открытие нового месторождения.

Основные положения предварительных моделей сводятся к тому (см. ст. Д.И. Мусатова в наст. сб.), что благоприятные условия для образования уникальных сульфидных медно-никелевых месторождений в Норильском районе были обусловлены только сочетанием во времени и пространстве следующих условий: наличием рифто-сателлитов (зон повышенной проницаемости мантийных флюидов и наибольшего плавления мантии); наличием зоны поддвига океанической коры в районе (основного источника воды, серы и галогенидов); широким развитием в разрезе чехла сульфатных и соленосных толщ (дополнительного источника серы и галогенидов); существованием погребенного зеленокаменного пояса и меденосных шельфовых толщ (дополнительного источника меди и других полезных компонентов); специфической геодинамики пермо-триаса, обеспечившей существование полей растяжения в период прохождения северо-западной части Сибирской платформы над горячей точкой; дискретности ячеек полей растяжения (участков локализации рудоносных интрузий).

Технология прогнозирования. Прогнозирование перспективных участков на основе геодинамического анализа предусматривает проверку модельных построений на стадиях регионального изуче-

ния (в масштабе 1:200 000–1:100 000) потенциального рудного района, геологической съемки с общими поисками масштаба 1:50 000 (ГПГК-50) и выделения в пределах района перспективных участков. Завершающим звеном прогнозирования является локальный прогноз. Поиски крупного месторождения сульфидных медно-никелевых руд предполагается проводить в две стадии: 1) общие поиски при крупномасштабной геологической съемке масштабов 1:50 000–1:25 000 с выделением рудных узлов; 2) поиски масштаба 1:10 000–1:5 000 с выделением рудоносных интрузий.

Проверка моделей и региональный прогноз на основе ГПГК требуют выполнения большого объема нетрадиционных видов исследований, в том числе:

- невзрывной сейсморазведки – профилирование МОГТ по системе многократных перекрытий с группированием (до 5) источников упругих колебаний и применением многоканальных сейсмостанций и специальных программ обработки материалов исследований на ЭВМ (ПТР, сеймостратиграфия и др.);

- глубинного магнито-теплурического зондирования (МТЗ) и профилирования (МТП), электромагнитного моделирования разреза;

- массовых палеомагнитных исследований и гелиевой съемки;
- геохимических исследований изотопного состава C, O, S, Pb, Sr, Nd, определения сочетаний петрогенных и редкоземельных элементов, изучения электрогеохимических индикаторов и локальных условий рудообразования, обработки информации с ее физико-математической фильтрацией на ЭВМ в диалоговом режиме;

- бурения опорных скважин глубиной до 3 км, специальных скважинных исследований;

- специализированных комплексных геологических исследований структурно-вещественных комплексов – индикаторов рифтов и зон поддвига океанической коры и мантийных пород, петрология и геохимии; моделирование и реставрация палеополей напряжения с применением муаровых структур; выделение дискретных ячеек рудоотложения на основе законов синергетики;

- переинтерпретации первичных материалов ГСЗ на мантийный уровень;

- геолого-геодинамического картирования перспективных площадей в масштабе 1:50 000 (ГПГК);

- физико-химического и физико-математического моделирования механизмов образования месторождений норильского и удоканского типов в геодинамической обстановке северо-запада Сибирской платформы, экспериментальных петрофизических исследований для интерпретации геофизических данных и разработки базовых моделей механизма образования месторождений.

При этом нетрадиционные виды исследований выдвигаются на первое место, что в свою очередь требует изменения технологии региональных геолого-геофизических и крупномасштабных геологосъемочных работ в процессе проверки моделей.

На основе предварительных геодинамических моделей района и механизма образования месторождения норильского типа выделен

потенциальный рудный район площадью около 20 000 км<sup>2</sup> – он ограничивается Норильско-Игарским зеленокаменным поясом, протягивающимся от Игарки до северной границы Хараелахской структуры полосой шириной в 50–60 км.

На стадии регионального изучения территории района определяются границы и морфология погребенного зеленокаменного пояса и рифтов-сателлитов в его пределах, определяются кинематика рифтов и мантии. Для этого выполняются следующие виды работ: сейсмопрофилирование МОГТ, МТЗ, гелиевая съемка и палеомагнитные исследования по шести региональным профилям (500 км); бурение шести опорных скважин глубиной 3 км и специальные скважинные исследования; исследования изотопного состава РЗЭ (500 проб), аналитическая фильтрация разрывных нарушений методом пространственно-статистического анализа на ЭВМ. По результатам исследований выполняется региональный прогноз.

На стадии ГПГК-50 в пределах рудного района (в зоне рифтов-сателлитов) выделяются дискретные ячейки (участки длительного сохранения полей растяжения) и определяется их шаг; уточняется положение в разрезе шельфовых толщ зеленокаменного пояса (вероятных носителей повышенных кларков и стратифицированных месторождений меди) и рудоконтролирующих горизонтов, благоприятных для внедрения в гипабиссальных условиях рудоносных интрузий; определяются границы перспективных участков. Выполняются следующие виды исследований: сейсмопрофилирование МОГТ по профилям через 10 км (500 км); профильные исследования МТП, плотность наблюдений 1 точка на 5 км<sup>2</sup> (500 км); профильная гелиевая съемка (500 км); площадные палеомагнитные исследования (5000 проб); бурение (дополнительно к имеющимся скважинам) скважин глубиной 2 км (1 скважина на 2500 км<sup>2</sup>); изотопные исследования по керну скважин и образцам (5000 проб); переинтерпретация материалов средне-крупномасштабных гравиметровых и аэромагнитных съемок (перспективный район); геологическое доизучение площадей на основе геодинамического анализа (ГПГК-50 на площади до 2500 км<sup>2</sup>); физико-химическое и физико-математическое моделирование механизма образования месторождений, уточнение модельных построений; разработка методики и технологии локального прогноза в конкретных условиях.

По материалам исследований проводится моделирование с уточнением и разбраковкой моделей механизма образования месторождения медно-никелевых руд. Особое внимание при этом обращается на выделение «законсервированных» геологических глубинных рудных объектов, анализ полей палеонапряжений, палеомагнетизма, теплового потока, процессов рудопереноса и рудообразования и их катализаторов.

В итоге ГПГК-50 проводится геодинамический анализ территории, выполняется локальный прогноз перспективных участков (общей площадью около 1000–2000 км<sup>2</sup>), в пределах которых возможны поиски рудных узлов и месторождений.

В заключение хотелось бы суммировать некоторые выводы:

1. Имеющиеся сейчас традиционные модели и эмпирические представления об условиях образования месторождений сульфидных медно-никелевых руд норильского типа и вытекающие из них прогнозные и поисковые следствия длительное время не дают реальных результатов.

2. Разработанная на геодинамической основе новая модель механизма образования месторождений указывает на вероятные источники полезных компонентов (меди, никеля, кобальта и др.), а также летучих (вода, сера, галогены), обеспечивающих экстрагирование металлов в расплав и (или) флюид, объясняет перемещение их в открытой системе высокой проницаемости в верхние этажи земной коры и условия рудоотложения.

3. Модель механизма образования месторождений норильского типа основана на новой теоретической базе – теории тектоники литосферных плит, получившей в последние 10–15 лет мировое признание. Эта модель в отличие от конкурирующих допускает численную проверку как при проведении полевых комплексных геолого-геофизических исследований, так и в процессе моделирования.

4. Для проверки предложенной модели разработана новая интенсивная технология геолого-геофизических исследований, а также подготовлена программа проверки, включающая все основные виды и объемы исследований с одновременной разработкой методики и технологии локального прогноза в условиях конкретных геодинамических обстановок и структур.

Ф.П. Митрофанов, В.З. Негруца,  
Ю.Н. Яковлев

#### СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Сульфидные медно-никелевые месторождения Кольского полуострова являются предметом исследований многих производственных и научных организаций. Решающую роль в их поисках, разведке и освоении сыграли экспедиции МГ РСФСР и геологические службы предприятий МЦМ СССР. В разное время здесь проводили исследования коллективы многих институтов Москвы и Ленинграда, таких как ИГЕМ, ИГГД АН СССР, ЦНИГРИ, ИМГРЭ, ЛГИ, ЛГУ, „Гипроникель“ и др., и постоянно – Геологический институт и другие подразделения Кольского филиала АН СССР. Анализ состояния исследований медно-никелевых месторождений региона основывается на использовании всех доступных нам материалов.

Обобщение разнообразных геофизических данных позволило в последние годы разработать обновленные модели глубинного строения земной коры северо-восточной части Балтийского щита. Установлена большая как вертикальная, так и латеральная неоднород-

ность в строении земной коры и верхней мантии. Выяснились неоднозначные взаимоотношения глубинных структур и приповерхностных геологических образований. Детальное изучение соотношения геотектонической и металлогенической зональностей с глубинным строением региона сдерживается малым объемом сейсмических материалов.

Сравнительный анализ данных по региональной геологии важнейших никеленосных провинций мира показывает, что, несмотря на ряд возрастных, структурно-вещественных, эволюционных различий, основные черты, определяющие их принципиальную геотектоническую сущность, свидетельствуют о принадлежности их к родственным тектонотипам. Так, сейчас уже нет сомнений, что задолго до возникновения рудоносных структур и продуктивных формаций в этих провинциях существовала достаточно зрелая сиалическая кора, а в период, непосредственно предшествовавший заложению и развитию рудоносных структур, господствовал субплатформенный режим. Сами рудоносные структуры представляются как зоны высокой магматической проницаемости, сформированные на кратонизированном основании в результате его активизации. В морфологическом отношении выделяются два типа таких структур: тектонические швы в кристаллическом основании, контролирующие размещение расслоенных интрузивов базит-гипербазитов, иногда очень крупных (Бушвелд, Стилуотер, и др.), и синклиновые структуры или впадины, выполненные осадочно-вулканогенными сериями, содержащими продуктивные вулканоплутонические ассоциации. Присутствие высокомагнезиальных коматитов или пикритов, вероятно, является прямым признаком рудоносности, но сейчас это лишь эмпирический вывод.

Среди значительного разнообразия базит-гипербазитов в последние годы выделено пять разновозрастных рудоносных формационных типов: гипербазитовый, габбро-гипербазитовый, габбро-лерцолит-вебстеритовый, перидотит-пироксенит-габбро-норитовый и габбро-верлитовый. Каждый из них характеризуется некоторыми отличительными чертами состава оруденения и масштабами его проявления.

Анализ размещения рудоносных массивов и месторождений в регионе позволяет говорить о латеральной неоднородности мантийного субстрата в раннем докембрии, чем обусловлено наличие нескольких рудных узлов, в пределах которых практически все разновозрастные интрузивные формации являются никеленосными. Это прежде всего северо-западный сегмент Кольского полуострова с несколькими рудными узлами, где проявлены почти все никеленосные формации; далее – центральная часть с массивами перидотит-пироксенит-габбро-норитовой и гипербазитовой формаций; юго-западная часть региона с никеленосными массивами вебстерит-габбро-норитового и габбро-лерцолит-вебстеритового типов.

Возрастная последовательность этих формационных типов не вполне ясна, существуют представления о принадлежности их к двум тектономагматическим и металлогеническим эпохам – кольской и карельской или к одной карельской. Достаточно определенно различаются формационные группы раннего и позднего этапов ка-

рельской эпохи: к первой относятся крупные расслоенные массивы перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации с датировками около 2.4 млрд. лет, а ко второй – массивы габбро-верлитовой формации с датировками 1.8–1.9 млрд. лет, обладающие наиболее высокой продуктивностью в отношении медно-никелевого оруденения. Анализ комагматических вулканоплутонических ассоциаций дает основание для отрицательной оценки вулканитов (пикритов) в отношении промышленной никеленосности, но их изучение необходимо для более полного представления об условиях формирования и потенциальной рудоносности интрузивных комплексов.

Многолетний опыт геологоструктурных исследований свидетельствует о важнейшей роли складчатых и разрывных дислокаций в формировании и размещении рудных полей, месторождений и рудных тел, хотя различными исследователями этим факторам придается разное значение даже в таких хорошо изученных районах, как Печенгский.

Имеющиеся данные позволяют считать, что главной структурной единицей, контролирующей размещение никеленосных районов Кольского полуострова, является Печенгско-Варзутская рифтогенная зона – непосредственно к ней и ее ближайшему гнейсовому обрамлению приурочены все важнейшие рудные районы, а остальные (Ловнозерский и др.), вероятно, тяготеют к зонам глубинных разломов или шовным зонам, связь которых с Печенгско-Варзутской зоной не выяснена. Влияние разрывных и складчатых структур различных порядков на локализацию месторождений и рудных тел наиболее четко прослеживается для тех из них, которые ассоциируют с массивами габбро-верлитовой и гипербазитовой формаций.

Исследования вещественного состава руд подтвердили ведущую роль магматического этапа в процессе формирования медно-никелевых месторождений, чем обусловлена близость состава сингенетических руд, а имеющиеся в них различия обусловлены связью с магмами неодинакового состава и неодинаковыми условиями становления базит-гипербазитовых массивов в различных районах. Вместе с тем установлено существенное влияние на состав руд неоднократных метаморфических преобразований, из которых важнейшими являются регионально-метаморфические, характеризующиеся различными термодинамическими параметрами в различных структурно-формационных зонах.

Детальное изучение состава бедных вкрапленных руд в базитах и гипербазитах позволило получить необходимые данные для разработки новых технологических приемов их переработки и вовлечения в сферу промышленного использования.

В процессе экспериментальных исследований впервые на количественной основе оценены некоторые факторы распределения, миграции и локализации рудных компонентов в магматических и гидротермальных сульфидно-силикатных и сульфидных системах.

На протяжении длительного времени разрабатываются главным образом две концепции формирования медно-никелевых месторождений – магматическая и метаморфогенно-гидротермальная. Первая,

как более ранняя и распространенная, разработана детальнее и подтверждается многими геологическими фактами и экспериментальными данными. В современной трактовке она учитывает роль не только собственно магматических факторов, но и последующих метаморфогенных (и гидротермальных), которые в различных структурно-формационных зонах проявились по-разному и в некоторых районах привели к существенному преобразованию первичного оруденения. В последнее время возрождается представление о значительной роли промежуточных магматических очагов в процессе формирования месторождений.

Согласно второй концепции, эпигенетическое оруденение есть результат деятельности метаморфогенно-гидротермальных систем, основными факторами которых являются тектонические складчато-разрывные нарушения и глубинные высокоэнергетические флюиды, связанные с подкоровыми зонами рифтогенных структур. В результате обменно-метасоматических реакций происходит метаморфогенная мобилизация и переотложение богатых руд в благоприятных структурах.

На базе всех этих данных и концепций предложено большое число критериев оценки потенциальной и промышленной никеленосности отдельных территорий и базит-гипербазитовых комплексов, неоднократно предпринимались попытки среднemasштабного и локального прогнозирования. Далеко не все рекомендации проверены, но опыт показывает, что достаточно успешно прогнозируются рудоконтролирующие структуры, а прогнозирование месторождений еще оставляет желать лучшего. Одновременно выяснено, что прогнозные и оценочные критерии не могут быть универсальными для всего региона – каждая структурно-формационная зона и формационная группа базит-гипербазитов наряду с многими общими чертами обладают и отличительными особенностями, которые в основном и определяют специфику развития в них медно-никелевого оруденения.

Рассмотрим подробнее проблему прогнозирования и поисков медно-никелевых месторождений в Кольском регионе. Как известно, для научно обоснованного прогнозирования и эффективных поисков необходимы знание закономерностей размещения месторождений и наличие соответствующей геологической карты. Поскольку результативность поисков медно-никелевых руд в регионе длительное время остается низкой, а общая прогнозная оценка его территории достаточно высокой, то следует признать, что либо критерии прогнозирования несовершенны, либо их реализация на практике не убедительна. Анализ показывает, что обычно имеет место и то, и другое.

Прогнозирование требует ответов на такие вопросы: имеются ли предпосылки обнаружения промышленных месторождений, какого генетического типа руды могут быть выявлены и где конкретно следует искать месторождения? Положительный ответ на первый вопрос основывается на давно установленной связи медно-никелевых месторождений с базит-гипербазитовыми магматитами. Следовательно, проявление базит-гипербазитового магматизма составляет

главный критерий потенциальной никеленосности конкретной территории. Но далеко не все базит-гипербазитовые тела никеленосны. Отсюда вытекает важнейшая задача их типизации и выявления критериев промышленной никеленосности. Длительное время разрабатывались разные аспекты этой проблемы – петрологические, геохимические, минералогические, структурно-тектонические, геофизические и другие, но соответствующие критерии, как правило, оказывались неоднозначными, что делало прогнозирование многовариантным. Вместе с тем и прямые рудные находки не всегда приводили к открытию месторождений, а некоторые „безрудные“ объекты позднее становились промышленно никеленосными. Тем не менее прямые признаки рудоносности составляют важный фактор прогнозирования.

Определение генетического типа ожидаемых месторождений также далеко не однозначно, требует проведения специальных исследований, поэтому на практике исходят обычно из косвенных эмпирических данных (геохимических, геофизических). Остается слабо исследованной связь оруденения с тектоникой, а именно – определение его до-, син- или постскладчатого характера, уровень воздействия метаморфо-метасоматических преобразований. Все это приводит к появлению целого ряда моделей сульфидного медно-никелевого рудообразования и различным генетически-прогнозным оценкам одних и тех же территорий.

Наконец, главнейший вопрос прогнозирования – где конкретно искать – предполагает анализ на карте положительных решений двух предыдущих вопросов. Для ответа на него необходима такая карта, на которой были бы отражены геологические явления, потенциально благоприятные для возникновения руд. Приходится констатировать, что таких карт не создано ни по одному из известных медно-никелевых районов Кольского полуострова. Таким образом, основа прогнозной оценки нашего региона на никель остается пока еще слабо разработанной, в основном эмпирической и противоречивой.

Возможно ли создание научной основы прогнозирования и поисков в ближайшее время? Положительное решение этой проблемы опирается на признание неразрывного единства месторождений и окружающей геологической среды и, следовательно, на необходимость комплексного изучения как самих месторождений, так и вмещающих их геологических структур. Неизбежным следствием этого признания стало всеобщее стремление переходить от частных разработок к комплексированию исследований разноранговых объектов как единых геологических систем. Реально это воплощается сейчас в виде таких крупных разработок, как глубинное доизучение Печенгской структуры, создание металлогенической модели Кольской геодинамической системы, комплексная оценка рудоносности важнейших районов и др., которые выполняются совместно, по единым программам научными и производственными организациями.

Заметим, что попытки проведения работ такого рода предпринимались и ранее, но они оказались малоэффективными главным образом из-за ведомственного подхода. Сейчас необходимо добиться

единства действий на всех этапах работ – от планирования до получения конечного результата. Для преодоления ведомственной разобщенности, а также амбициозности самих геологов надо изменить отношение к общему делу – работать сообща, не мешая, а помогая друг другу. Вероятно, в недалеком будущем потребуется объединение усилий научных и производственных организаций в рамках общей программы для всей нашей провинции или ряда провинций (вплоть до общесоюзной), рассчитанной на длительный период и призванной максимально использовать сильные стороны каждой организации. И тогда отдача и в фундаментальных, и в практических вопросах не заставит себя ждать. Перестройка геологической работы требует и смелости – в совместном прогнозировании и обоснованном требовании его убедительной проверки. Смелость предполагает риск – в настоящей геологической работе без него не обойтись.

Авторы благодарят сотрудников Геологического института КФАН СССР Л.А. Арутюняна, В.Г. Загородного, А.А. Предовского, В.Ф. Смолькина, Ф.И. Свяженинова, А.К. Яковлеву за помощь в подготовке статьи.

В.В. Проскуряков, С.Н. Войцеховский

#### АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗА И ПОИСКОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД В КАРЕЛО-КОЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Поисковые и разведочные работы на никель в Карело-Кольском регионе ведутся уже около 60 лет. За это время здесь создана сырьевая база, накоплен практический опыт, сформулированы научные принципы прогнозирования. Однако существует ряд нерешенных и обострившихся проблем, как например:

а) возрастает глубина залегания эксплуатируемых рудных залежей Печенгского рудного района; б) вне Печенги промышленных залежей не выявлено; в) новые разработки в теории рудообразования (касающиеся развития формационного анализа, условий формирования, состава и продуктивности магм, роли процессов метаморфизма и метасоматоза в рудообразовании) не оказали существенного влияния на региональную разработку структур, локальное прогнозирование и, в конечном счете, на развитие поисков.

Практику поисковых работ обогатил опыт обнаружения и изучения в Печенгском рудном поле „отщепленных“ залежей. Но эти открытия были сделаны, к сожалению, скорее вопреки доминирующим научным концепциям, по которым перспективы массива ограничивались его подошвой и продолжение бурения в экзоконтакте не рекомендовалось.

Трудности научного прогноза и достижения результативности поисков в значительной мере объясняются причинами объективного характера:

– конвергентностью рудогенезиса и приуроченностью медно-нике-

левых руд к различным типам магматических базит-гипербазитовых формаций, широким диапазоном геологических условий, метаморфизма и времени рудообразования;

- наиболее перспективные на никель структуры хорошо изучены, и поиски в „старых“ рудных районах опустились на глубокие горизонты, а в новых вышли на труднодоступные и закрытые площади, в этих условиях качество геологической основы не вполне отвечает требованиям глубинных поисков;

- неблагоприятны условия проведения геохимических поисков по вторичным ореолам, что связано с существенно аллохтонным характером рыхлого покрова;

- большое количество магнитных и электропроводящих объектов нерудной природы затрудняют интерпретацию результатов геофизических работ.

Нельзя сказать, что за последнее двадцатилетие не появилось новых данных в геологии и методике работ, которые следует отнести в актив:

- в Печенгском рудном поле выявлены залежи „отщепленных“ рудных тел, локализующихся во вмещающих породах;

- в Печенгской структуре установлена никеленосность гипербазитовых массивов в пределах секущих структур среди диабазов III покрова, в вулканитах IV покрова выявлены горизонты ультраосновных лав;

- в Аппареченском рудном поле установлен многоярусный характер оруденения, работами последних лет выявлен ряд перспективных геофизических аномалий и прямых подсечений медно-никелевых руд;

- на смежной с Аппареченской Солозерской площади выявлены дифференцированные массивы базит-гипербазитов, содержащие медно-никелевую минерализацию (до 0,6-0,8% никеля);

- в Восточно-Кольском районе в зоне сочленения крупных расчлененных межформационных массивов Панского и Федоровотундровского выявлены новые рудопроявления;

- интересные результаты получены в ходе валунных поисков в Кандалакшском грабене (ряд валунов основных-ультраосновных пород с содержанием никеля 0,5%, меди 3-5%);

- в Восточной Карелии в пределах Каменнозерской структуры изучены массивы ультраосновных пород, вмещающие залежи бедных медно-никелевых руд, а также мелкие тела богатых руд; здесь же выявлен новый тип медно-никелевого оруденения, связанного с коматитами;

- проводящие объекты выявлены на глубоких горизонтах крупного расчлененного Бураковско-Аганозерского массива;

- в практику геологоразведочных работ внедрены новые геофизические средства - глубинные методы электроразведки (МПП в различных модификациях, ДИП, ММЗ, ВП), скважинные геофизические методы (РВП, КСПК, МППС, ДЭМПС и др.), сейсморазведки (МОГТ); повысилась разрешающая способность грави- и магниторазведочных работ;

- в ПГО „Севзапгеология“ в целях оптимизации применения гео-

лого-геофизических методов разработан прогнозно-поисковый комплекс, учитывающий формационные особенности месторождений региона.

За последние два десятилетия на качественно новый рубеж вышли научные исследования, касающиеся прогнозирования медно-никелевых месторождений. Если ранее в геологической науке преобладал генетический подход, то последний период характеризовался внедрением металлогенических исследований, формационного анализа, развитием структурно-геометрического направления в прогнозировании, математизации в геологии.

Но следует отметить, что научно-исследовательские организации слабо выполняют одну из своих основных функций. Для хорошо изученных структур Кольского региона это разработка принципов локального прогноза и передача конкретных экономически обоснованных рекомендаций геологам-производственникам. Здесь дело обстоит неудовлетворительно. Большинство рекомендаций недостаточно конкретны, имеют региональный характер и ориентируют на металлогенические зоны или на известные рудные районы. Анализ внедрения рекомендаций свидетельствует, что организации, выпускающие их, не проявляют достаточной требовательности к этой продукции. Так, в ПГО „Севзапгеология“ за последние 10 лет к внедрению было принято лишь около 1/3 поступивших рекомендаций. Часть их уже реализована, но с отрицательными результатами.

Требуется иных форм организация научных исследований. Как правило, в отдельных перспективных структурах научные исследования ведутся по разрозненной тематике и не завершаются сводными работами, ориентированными на решение наиболее важных проблем. Таким образом, отсутствует синтез научных разработок.

В настоящее время, как и в предшествующие пятилетки, производственные и научно-исследовательские работы на никель выполняются на основе согласованной программы.

Печенгское рудное поле - это полоса осадков длиной до 30 км при ширине в плане до 2 км с никеленосными габбро-верлитовыми интрузиями, где руды встречаются как в массивах, так и вне их. Рудное поле до глубины 800-1000 м изучено с детальностью, исключающей пропуск компактных месторождений среднего размера. Пока не решен вопрос о практической значимости месторождений бедных и рядовых руд. Техничко-экономические показатели целесообразности их освоения, выполненные институтом „Гипроникель“, показали нерентабельность их отработки. Тем не менее вопрос нельзя считать закрытым.

Печенгская структура занимает северо-западную часть Печенгско-Варзугской зоны карелид и имеет протяженность около 70 км при максимальной ширине до 35 км. Происхождение этой структуры трактуется по-разному. Наиболее часто эта структура именуется грабен-синклином или авлакогеном. Нами она трактуется как моноклиналь, сложенная покровами диабазов, разделенными осадочными горизонтами. С юга структура ограничена надвигом более древних архейских пород тундровой серии. В последние годы по-

лучены новые данные, позволяющие предположить кулисо-клавшиное строение структуры. По данным сейсморазведки, предполагается воздымание продуктивной толщи под диабазами 1У покрова. Таким образом, появились предпосылки опоискования неизвестных ранее фрагментов продуктивной толщи на доступных глубинах. Кроме того, доказана рудоконтролирующая роль диагональных разломов, секущих диабазы III покрова, имеются подсечения ультраосновных вулканитов с сульфидной никелевой минерализацией. Эти и другие вопросы предполагается решить при проведении геологического доизучения территории.

Месторождения Аллареченского района связаны с мелкими телами гипербазитов, залегающими среди гнейсов и амфиболитов архея, и сформированы при решающей роли метаморфо-метасоматических процессов. В конце 70-х и в начале 80-х годов работы здесь практически не проводились и возобновлены лишь с появлением глубинных электроразведочных методов (ММЗ, МПП-4). В районе будут продолжены глубинные геофизические поиски, сопровождающиеся глубоким бурением.

В Мончегорском рудном районе большинство известных месторождений и рудопроявлений связаны с Мончегорским плутоном, потенциал которого практически исчерпан. Известно также мелкое проявление, связанное со слюдисто-амфиболовыми сланцами. Предпосылки к поискам никеля в районе остаются. Однако вопросы развития здесь поисков требуют дополнительной научной проработки.

В Восточно-Кольском (Имандра-Варзугском) районе основные перспективы связываются с крупными межформационными расслоенными массивами перидотит-пироксенит-норитовой формации Панской и Федоровой тундр, вопрос о сопряжении и единстве которых трактуется по-разному. Сульфидное медно-никелевое оруденение установлено в пределах обоих массивов, а также в зоне их сочленения. Что касается других никеленосных формаций, развитых в Имандра-Варзугской структуре и ее обрамлении, то выход на их опоискование нецелесообразен без предварительного научного анализа.

В Ловноозерском районе оруденение в основном связано с массивами норитовой формации, имеет небольшие масштабы и представлено рядовыми рудами. Проводившиеся в прошлые годы геофизические и геохимические поиски не дают оснований для постановки поисковых работ (во всяком случае в ближайшее время).

В Восточно-Карельском районе среди вулканогенно-осадочных образований лопия ультраосновные массивы с медно-никелевым оруденением приурочены к системе структур, развитых вдоль глубинных разломов северо-восточного и северо-западного направлений. К первой системе приурочены крупные массивы ультраосновного состава, в связи с которыми известен ряд рудопроявлений медно-никелевых руд. Работы здесь будут продолжены. К северо-западной зоне разломов приурочена полоса развития коматитов и экструзий ультраосновного состава.

В качестве новых перспективных районов в Карело-Кольском регионе рассматриваются: а) Солозерская площадь, расположенная

к юго-западу от Аллареченских месторождений и являющаяся фрагментом шовной зоны сопряжения Печенгской и Варзугской структур; б) Бураковско-Аганозерский дифференцированный базит-гипербазитовый массив; в) Маткалахтинская структура, расположенная в зоне сочленения шита и платформы и имеющая черты сходства с Вожминской зоной Каменноозерской структуры.

Научным организациям необходимо сосредоточить усилия в области локального прогнозирования. При этом в условиях, где наиболее вероятны магматогенные руды (крупные расслоенные слабо измененные массивы), должны углубляться методы формационного и внутрiformационного анализа. Нужно разработать петрологические и геохимические признаки рудоносных интрузий, а также факторы структурного контроля оруденения внутри интрузий. Кроме того, в тех геологических обстановках, где более вероятны метаморфогенные руды, главным является изучение вопросов миграции рудных элементов при метаморфизме никеленосных основных-ультраосновных пород и геолого-структурных условий метаморфо-метасоматического рудообразования, состава рудно-силикатных парагенезисов, масштабов и характера фронтальных зон рудоносных метасоматических колонок. В этих условиях нужно научиться картировать зоны пластического смятия и будинаж-структуры, которые могут быть рудоносными.

Среди вопросов регионального плана нужно рассмотреть следующие:

- можно ли и каким образом в условиях древнего Балтийского шита использовать основные положения так называемой современной геодинамической концепции при оценке никеленосности структур?

- какова взаимосвязь никеленосных интрузий и коматитовых серий с вулканитами? Необходимо выявить петрохимические особенности и геотектонические черты формирования тех эффузивов, которые сопутствуют никеленосным интрузиям;

- определить никеленосность шовных зон сочленений разновозрастных блоков в глубокоэродированных сегментах земной коры;

- провести абсолютную датировку базит-гипербазитов и руд и выявить временные максимумы медно-никелевого оруденения.

Весьма важными для повышения результативности поисков никеля являются разработка и внедрение методов и методик, обеспечивающих повышенную глубинность геофизических и геохимических исследований.

Большой резерв повышения эффективности научно-исследовательских работ сохраняется в организационных вопросах их проведения. В последнее время в этом направлении предпринято достаточно много усилий. По наиболее важным районам региона (Печенгско-Аллареченскому, Восточно-Кольскому и Восточно-Карельскому) разработаны целевые программы научно-исследовательских, тематических и опытно-методических работ, созданы рабочие группы, осуществляющие координацию деятельности различных организаций в рамках этих программ.

Задачи поисков никеля с каждым годом усложняются. Встает вопрос: не связано ли долговременное отсутствие новых открытий с объективным исчерпанием возможностей региона? Пока на такой вопрос, на наш взгляд, утвердительно ответить нельзя. Еще много непройденных путей — Печенгская структура в целом, коматииты, расслоенные массивы и др. Понимая всю необходимость открытия месторождений богатых руд и прилагая к этому все усилия, сегодня нельзя строить стратегию использования сырьевой базы только исходя из ожидания таких месторождений и считать неуспехом открытие любого другого месторождения. Очевидно, следует готовиться к расширению фронта освоения рядовых и бедных руд местной сырьевой базы, при этом необходима неотложная разработка новых прогрессивных технологий обогащения медно-никелевых руд.

В.Г. Загородный, М.М. Ефимов,  
А.Т. Радченко, Ю.Н. Яковлев,  
Ю.В. Гончаров, Ю.А. Астафьев

ПОЛОЖЕНИЕ НИКЕЛЕНОСНЫХ ФОРМАЦИЙ  
В ГЕОТЕКТОНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ РАННЕГО ДОКЕМБРИЯ  
СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ БАЛТИЙСКОГО ШИТА  
И ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ СВЯЗАННЫХ С НИМИ  
МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

Кольский полуостров с прилегающими к нему районами материковой Фенноскандии представляет собой уникальную никеленосную провинцию. Здесь в отличие от других регионов (Южная Африка, Канада, Западная Сибирь и т.д.) рудные образования, несущие их формации базит-гипербазитов, а также их пространственно-временные взаимоотношения многообразны и проявлялись неоднократно в широком возрастном диапазоне от позднего архея (2900–2800 млн. лет) до заключительных этапов раннего протерозоя (1900–1800 млн. лет). Эта особенность региона, казалось бы, сулит много интересного, позволяя в связи с задачами разного профиля анализировать латеральные и эволюционные неоднородности, в том числе ряды формаций и рудно-магматических систем; вместе с тем она же предъявляет повышенные требования к уровню знаний, их объективности и точности, которые не всегда достижимы для докембрия на современной методической и технической основе.

Общий обзор геологической истории Кольского региона, стратиграфии, тектонической периодизации и номенклатуры эндогенных режимов мы не приводим в связи с имеющейся публикацией [6]. Не имея возможности равномерно прокомментировать все исторические подразделения, ниже мы остановимся лишь на этапах геологического развития, которые можно определить как эпохи медно-

никелевого рудообразования. Их в истории Кольского докембрия четыре: лопийская, поздне- или постлопийская, сумийская и калевиийская в соответствии с номенклатурой структурно-вещественных подразделений, принятой региональной стратиграфической комиссией.

Обращаясь к рассмотрению основных черт строения и истории лопийского комплекса, следует обратить особое внимание на то, что он формировался уже на субконтинентальной сиалической коре, присутствие которой в значительной мере определяло специфику геотектонических, петрологических и металлогенических процессов. Развитие начиналось с деструктивных процессов — неравномерного дробления коры и накопления значительных осадочно-вулканогенных, вулканогенных толщ в пределах линейных мобильных зон и в меньшей мере в районах ячеисто-глыбовой рассеянной активизации основания. Окончательным результатом эволюции лопийской системы является глыбово-складчатая структура, характерная для областей развития архейских зеленокаменных поясов.

В составе магматических пород, слагающих рассматриваемые структуры, существенную роль играют базальты, коматиитовые базальты, коматииты и соответствующие им, вероятно, субвулканические массивы базит-гипербазитов. Обычно для них характерны повышенная железистость и медно-никелевая специализация, однако в качестве реально никеленосных можно рассматривать две формации [2, 4 и др.]: вебстерит-габбро-норитовую и габбро-лерполит-вебстеритовую, отнесение которых к лопийскому времени все же нельзя считать надежно установленным.

Обе формации широко распространены в Ловноозерском районе, Сальютундровской зоне, в меньшей мере — в районе Колвицких тундр. Первая представлена недифференцированными или слабодифференцированными преимущественно мелкими, реже средних размеров массивами неправильной линзовидной, сигарообразной и веретенообразной формы. Они приурочены к узким (1–4 км) протяженным зонам или поясам пестрого состава, вытянутым в субширотном направлении, в пределах которых залегают согласно с линейностью, являющейся результатом протерозойской метаморфической перестройки лопийских структур. Но известно и несогласное залегание массивов этой формации [10, 12 и др.]. Связанное с ними оруденение большей частью вкрапленное и гнездово-вкрапленное, редко встречаются маломощные тела брекчиевидных руд. Локализовано в виде многоярусных зон внутри массивов, без отчетливой связи с элементами внутреннего строения последних; редко наблюдается в экзо-контактных и вмещающих породах вблизи массивов. Оно относится к глубокометаморфизованному типу и характеризуется высоким отношением никеля к меди (см. таблицу), повышенным содержанием кобальта, но низким общим содержанием этих металлов в сульфидной фазе [9, 10 и др.].

Массивы габбро-лерполит-вебстеритовой формации развиты в тех же зонах или поясах, но распространены меньше, имеют неправильную линзовидную форму, небольшие размеры, залегают согласно

Месторождения, никеленосные породы	Ni/Cu			$\Sigma$ Me/S		
	I	II	III	I	II	III
Ловноозерские, базиты	2.04	2.15	5.58	0.23	0.23	0.13
Суэйнлагаш, гипербазиты	1.18	1.33	3.67	0.18	0.15	0.10
Восток, гипербазиты	1.66	1.79	2.38	0.33	0.57	0.57
Аплареченское, —"	2.23	2.79	3.33	0.66	0.48	0.47
Карикъявр, —"	1.15	—	—	0.44	—	—
НКТ, —"	2.28	—	1.96	0.44	—	0.25
Сопча, —"	2.52	—	1.59	0.54	—	0.31
Фланговое, —"	2.10	2.11	2.23	0.49	0.48	0.31
Восточный узел, —"	2.55	2.37	2.11			

Примечание. Руды I — рассеяновкрапленные, II — густовкрапленные, III — брекчиевидные и сплошные; сумма металлов ( $\Sigma$  Me) включает содержания никеля, меди и кобальта; содержание S в печенгских рудах принято по результатам анализов штучных проб [11].

и несогласно с вмещающими породами, отчетливо дифференцированы. Оруденение также относится к метаморфизованному типу, сосредоточено в нескольких „висячих” горизонтах среди вебстеритов, чаще вблизи лежачего бока; преобладают вкрапленные руды, менее распространены прожилково-вкрапленные, а брекчиевидные и сплошные очень редки. Характеризуются очень низкой концентрацией металлов в сульфидной фазе, небольшим преобладанием никеля над медью и относительно высоким содержанием кобальта.

Следующая, поздняя или постлопийская эпоха медно-никелевого рудообразования замечательна тем, что рудоносные формации — гипербазитовая и габбро-гипербазитовая — характеризуются сплошными противоречиями. Мы посчитали возможным отнести их к указанному времени на основании того, что они часто, пересекая лопийские структуры, соотносятся с ними как более молодые образования и, наоборот, подчиняются в размещении крупным структурам карелид, но геохимически и по предварительным данным изотопного датирования все же принадлежат позднему лопию.

Типовым районом распространения гипербазитовой формации является Аплареченский. Здесь множество (около 400) небольших тел гипербазитов подчиняются как будто пликативным структурам, обрамляющим блок-антиклинали, однако их группы (кусты) приурочены к пересечениям северо-западных и северо-восточных разломов. Большинство массивов залегают грубо согласно с вмещающими гнейсо-амфиболитовыми толщами, но детальными исследованиями

установлено секущее залегание некоторых из них, в том числе и содержащих промышленное оруденение. Отдельные тела неотчетливо дифференцированы, многие пересечены жилами гранитных пегматитов [3, 15 и др.]. Аплареченский район вошел в мировую литературу как образец интенсивно метаморфизованного оруденения. Вкрапленные руды в гипербазитах и здесь преобладают, но значительную долю составляют также сплошные и брекчиевидные, залегающие как в контурах материнских массивов, так и за их пределами в тектонических зонах на расстоянии до 100–200 м; широко развито оруденение в экзоконтактных и вмещающих породах. В размещении руд различных типов на месторождениях наблюдается грубая зональность. Промышленные руды отличаются высокой концентрацией полезных компонентов и существенным преобладанием никеля над медью (см. таблицу). По данным С.И. Зака [7], аналоги аплареченских гипербазитов развиты и далее на восток в южном обрамлении Печенгско-Варзугского пояса карелид.

Габбро-гипербазитовая формация развита в северо-восточном обрамлении Печенги. Она представлена дифференцированными телами небольшого и среднего размера, испытывшими блокировку, залегающими несогласно по отношению к складчатым структурам вмещающих пород и устроенными подобно расчлененным плутонам, что вместе с характерным составом их руд служит иногда основанием для сопоставлений с мончегорским типом. Вместе с тем геохимически эти образования сопоставимы скорее с печенгскими габбро-верлитами, а определения возраста, выполненные по лейкократовым габброидам в Карикъяврском массиве, показали их принадлежность к позднему лопию (около 2700 млн. лет). Для габбро-гипербазитовой формации характерна отчетливая зональность рудного и силикатного вещества. Перидотитовая зона содержит хромитовую минерализацию и сульфидное медно-никелевое оруденение, которое представлено вкрапленностью, редкими гнездовыми скоплениями и прожилками; концентрируется в виде „висячих” горизонтов и придонной залежи. Принадлежит магматическому типу, но в тектонических зонах сильно преобразовано. Отношение никеля к меди в рудах близко единице, содержание металлов в сульфидной фазе довольно высокое (см. таблицу). К габброидам приурочена ильменит-магнетитовая вкрапленная минерализация.

Массивы всех охарактеризованных выше формаций пересечены жилами гранитных пегматитов мощностью до 20–25 м, которые наиболее часто встречаются в массивах гипербазитовой формации и очень редко — габбро-гипербазитовой.

Регионально-геологические, геотектонические, петрологические исследования свидетельствуют, что архей завершается глубокой кратонизацией земной коры восточной части Балтийского щита и, вероятно, периодом покоя в преддверии следующего этапа развития. Таким образом, суммируя эпоха медно-никелевого рудообразования начинает принципиально новый (карельский) период и стиль развития. Мы предполагаем, что это явление в целом можно определить как интра- или перикратонную активизацию, вызвав-

шую формирование аркогенно-рифтогенной системы, представленной купольными поднятиями, рядом тафрогенных зон (например, Печенгско-Варзугская), рассеянным рифтогенезом на более стабильных массивах и системами разломов, закономерно обрамляющими тафрогенные зоны и контролирующими размещение интрузивов за пределами самих зон.

На Кольском полуострове в это время (около 2500–2400 млн. лет назад) в пределах Печенгско-Варзугской зоны, в ее восточной части формируется мощный вулканогенный комплекс базальтов, базальтовых коматиитов, андезито-дацитов с соответствующими силлами субвулканических базитов. Одновременно в бортах, по разломам, ограничивающим и оперяющим трог, а также на их продолжении в Печенгской части пояса размещаются расслоенные плутоны никеленосной перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации. Типичным представителем этой формации является Мончегорский плутон. Не задерживаясь более на этой формации, имея в виду, что ее типовой представитель является классикой и многократно описан [8 и др.], следует лишь отметить, что рудные образования в ней – все с ясными чертами магматического происхождения – локализованы в пределах материнских массивов и приурочены к определенным элементам их внутренней структуры. Бедное вкрапленное оруденение характеризуется значительным преобладанием никеля над медью, но встречаются и существенно медистые разновидности; в жильных рудах отношение никеля к меди ниже, чем во вкрапленных. Концентрация металлов в сульфидной фазе вкрапленных руд довольно высокая, а жильных – умеренная (см. таблицу). Преследуя цель нашего сообщения, подчеркнем еще раз, что в размещении массивов данной формации контроль осуществляется разломами двух систем: С-З и С-В направлений. Первые из них – карельские шовные зоны и разломы, определяющие заложение и границы трогов; вторые – контролируют латеральную зональность карельских структур. Расслоенные массивы и их группы приурочены обычно к пересечениям этих систем или расположены вблизи их.

Последнюю, или к а л е в и й с к у ю, эпоху медно-никелевого рудообразования на Кольском полуострове по праву можно было бы назвать Печенгской. В это время с приближением к заключительным этапам развития мобильного Печенгско-Варзугского вулканического пояса, главным образом в пределах Печенгской структуры, была сформирована никеленосная пикрито-габбро-верлитовая вулкано-плутоническая ассоциация. Она как наиболее продуктивная из всех никеленосных формаций региона подробно рассмотрена в многочисленных публикациях, в том числе крупных обобщающих работах [1, 2, 5, 13, 14 и др.].

Сульфидное медно-никелевое оруденение сосредоточено главным образом в мелких и средних факонитообразных дифференцированных массивах габбро-верлитов, но известно и в пикритовых телах. Габбро-верлитовые массивы размещены главным образом в пределах пильгуярвинской (ждановской) туфогенно-осадочной толщи, называемой продуктивной, где отчетливо контролируются разрывными и

складчатыми структурами. Широко распространены сингенетические и эпигенетические руды. Первые представлены рассеянно- и густо-вкрапленными в слоях метAPERИДОТИТОВ вблизи лежащего бока массивов, вторые – брекчиевидными и сплошными в тектонических зонах, нередко продолжающихся за пределы массивов на сотни метров, а также прожилково-вкрапленными во вмещающих филлитах. В строении большинства рудных тел хорошо прослеживается зональность – как по нормали (смена руд различных типов), так и по латерали (чередование рудных столбов и зон разубоживания). В наиболее крупных массивах установлено вкрапленное железо-титановое окисное оруденение, развитое в пироксенитах зоны перехода от перидотитов к габбро.

Изучение структурных и петролого-геохимических особенностей руд в тектонических зонах показывает, что их образование не всегда можно связывать с близлежащими никеленосными массивами – существуют различные представления об их генезисе, которые требуют тщательного изучения этого вопроса.

В пикритах установлено вкрапленное и гнездово-вкрапленное сульфидное оруденение, аналогичное таковому в габбро-верлитах, но значительно менее интенсивное.

Разносторонний анализ региональных материалов, их сопоставление с данными по другим никеленосным провинциям позволяет сделать ряд выводов по крайней мере двух категорий: 1) в региональном плане – о характере и основных чертах размещения никеленосных образований; 2) в общем познавательном отношении – об условиях или геодинамических факторах, благоприятствующих возникновению никеленосных комплексов, а также наметить некоторые задачи дальнейших исследований.

1. В структуре региона, по последним данным, присутствуют четыре возрастные группы никеленосных формаций. Однако установленным можно считать возраст только двух протерозойских (сумийский – мончегорский тип и калевийский – печенгский тип), возраст остальных необходимо доизучать.

В размещении формаций различаются две основные обстановки. Первая – никеленосные интрузивы входят в состав супракрустальных комплексов, слагающих мобильные пояса. Контроль сложный: литолого-стратиграфический и структурный (складчатые и разрывные нарушения). Никеленосные формации в этом случае следует рассматривать как часть вулкано-плутонических ассоциаций. Это печенгская пикрито-габбро-верлитовая и, вероятно, ловноозерская коматиитов-вебстерит-габбро-норитовая ассоциации. Присутствие в них вулканитов определенного состава является важным фактором контроля размещения массивов. Вторая – размещение интрузивов связано с краевыми и оперяющими разломами в фундаменте мобильных поясов и зон, возможно также с тектоническими швами разновозрастных блоков. Сюда относятся, во-первых, расслоенные массивы мончегорского типа, возможно также массивы габбро-гипербазитовой и гипербазитовой формаций карикъяврского и аппареченского типов. В обеих обстановках размещения массивов важную роль играют пере-

сечения основных контролирующих структур с поперечными разломами. К этим участкам во всех возрастных группах приурочены кусты массивов, и, ориентируясь по ним, можно предполагать магмоподводящие каналы и размещение глубинных промежуточных магматических очагов.

Обе ситуации в размещении никеленосных формаций базит-гипербазитов указывают, что основной причиной их генерации и особенностей локализации следует считать тектоническую активизацию субконтинентальной коры, а также развитие зон высокой мобильности и магматической проницаемости. Наши данные позволяют их классифицировать как пери- или интракратонные рифтогенные структуры. Многие исследователи склонны определять их как зеленокаменные пояса, что, может быть, и удобнее, так как не имеет генетической нагрузки.

Важной чертой региональных закономерностей размещения всех никеленосных формаций является их сосредоточение в западной, северо-западной частях полуострова. Эта особенность не связана с какими-либо особенностями геологической эволюции в том или другом периоде, а представляется на сегодняшнем уровне знаний сквозной. Следовательно, она обусловлена причинами глубинного строения (латеральной неоднородности) коры или строения и состава мантии, что представляется более вероятным. Хотелось еще раз отметить, что она сохраняет свое влияние в интервале более миллиарда лет.

2. Сравнительный анализ материалов по никеленосным провинциям позволяет сделать некоторые общие выводы о геодинамических обстановках и факторах, благоприятных для возникновения и эволюции никеленосных систем. К ним надо отнести следующие: 1) существование достаточно зрелой континентальной коры; 2) развитие на ее основе мобильно-проницаемых зон, обеспечивающих подачу больших объемов магматических масс; 3) наличие обогащенных магнием и металлогенически специализированных расплавов; 4) специфичная активность геотектонических процессов, вероятная, по всей видимости, лишь в условиях континентального рифтогенеза и обеспечивающая глубинность генерации магматических расплавов и оптимальную термодинамическую обстановку в зоне промежуточных очагов и подводящих каналов, которая способствует перераспределению рудного вещества на поздние и постмагматических этапах.

Из крупных региональных задач исследований следует отметить три: 1) изучение радиологического возраста магматических формаций; 2) структурные глубинные исследования с целью поисков промежуточных очагов и каналов, распределяющих рудоносные формации; 3) доизучение и объяснение феномена никеленосности западной части Кольского полуострова.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов Г.И. Геология и генезис сульфидных медно-никелевых месторождений Печенги. М., 1968, 352 с.

2. Горбунов Г.И., Загородный В.Г., Робинен В.И. Основные черты геологической истории Балтийского щита и эпохи рудообразования // Медно-никелевые месторождения Балтийского щита. Л., 1985. С. 5-27.

3. Гончаров Ю.В. Структура Аплареченского сульфидно-медно-никелевого месторождения // Геология и минералогия сульфидных медно-никелевых месторождений Кольского полуострова. Л., 1970. С. 32-43.

4. Ефимов М.М., Докучаева В.С., Смолькин В.Ф., Борисова В.В., Радченко М.К., Бакушкин Е.М. Основные формационные типы базит-гипербазитов северо-восточной части Балтийского щита (периодизация и особенности размещения) // Петрология и критерии оценки рудоносности докембрийских базит-гипербазитовых формаций Карело-Кольского региона. Апатиты, 1985. С. 3-15.

5. Загородный В.Г., Мирская Д.Д., Суслова С.Н. Геологическое строение печенгской осадочно-вулканогенной серии. М.; Л., 1964. 208 с.

6. Загородный В.Г., Радченко А.Т. Тектоника раннего докембрия Кольского полуострова. Л., 1983. 94 с.

7. Зак С.И. Гипербазитовая формация Кольского полуострова. Л., 1980. 160 с.

8. Козлов Е.К. Естественные ряды пород никеленосных интрузий и их металлогения. Л., 1973. 288 с.

9. Козлов Е.К. Основные породы района Ловноозера и их рудоносность // Основные и ультраосновные породы Кольского полуострова и их металлогения. Апатиты, 1975. С. 15-22.

10. Медно-никелевые руды в гранулитовом комплексе. Л., 1979. 208 с.

11. Минералогия медно-никелевых месторождений Кольского полуострова. Л., 1981. 352 с.

12. Спиридов В.Н. Базиты-гипербазиты района гранулитовой серии и их металлогения // Основные и ультраосновные породы Кольского полуострова и их металлогения. Апатиты, 1975. С. 23-39.

13. Структуры медно-никелевых рудных полей и месторождений Кольского полуострова. Л., 1978. 160 с.

14. Ультраосновные и основные интрузии Печенги. М.; Л., 1961. 357 с.

15. Яковлев Ю.Н., Яковлева А.К. Минералогия и геохимия метаморфизованных медно-никелевых руд. Л., 1974.

330 с.

### ПИКРИТОБАЗАЛЬТОВЫЙ ВУЛКАНИЗМ И ЕГО ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПЕРСПЕКТИВ НИКЕЛЕНОСНОСТИ РУДНОГО ПОЛЯ ПЕЧЕНГИ

Более 20 лет назад установлено сходство состава пикритов и никеленосных интрузий Печенги, сделан вывод об их образовании из единой исходной магмы [1]. Позднее выявлено широкое развитие вулканогенных пород пикритобазальтового состава в свите матерт и обоснована самостоятельность пикритобазальтовой и толеитобазальтовой первичных магм, обусловленная их образованием в разоглубинных магматических очагах [3, 4]. Такому представлению противоречило наблюдение В.Г. Загородного о нахождении пикритов и толеитовых базальтов как дифференциатов в одном покрове. В последнее время на большом материале показано, что породы базальтового состава в дифференцированных пикритовых покровах присутствуют постоянно, но они и по составу, и по структуре отличаются от толеитовых базальтов, слагающих разрез свиты матерт [5].

В настоящее время большинство исследователей Печенги признают наличие самостоятельной пикритобазальтовой исходной магмы и образование из нее никеленосных интрузий. В связи с этим возникла необходимость изучения пикритобазальтового вулканизма, с одной стороны, с целью оценки возможной никеленосности самих вулканических пород, а с другой – для выяснения предполагаемых связей никеленосных интрузий и оруденения в них с вулканическими аппаратами, через которые поступала на поверхность пикритобазальтовая магма. Это тем более актуально, что в последнее время появились представления о приповерхностном характере никеленосных интрузий, о „гиалоперидотитах“ и о возможности обнаружения медно-никелевых руд в корневых частях пикритобазальтовых палеовулканов.

Пикритобазальты слагают около 10% разреза вулканогенной толщи свиты матерт, будучи представлены лавами и пирокластолитами. Подавляющая масса туфов пикритобазальтового состава сосредоточена в прерывистом горизонте, залегающем в основании свиты матерт на границе с подстилающими осадочными породами продуктивной толщи. Мощность горизонта пикритобазальтовых туфов изменяется от 0 до 600 м. Таким образом, формирование многокилометровой вулканической толщи свиты матерт началось с мощных взрывных извержений пикритобазальтовой магмы, на смену которым пришли трещинные излияния жидкой базальтовой магмы. Выше первого базальтового покрова пикритобазальтовые туфы в вулканогенной толще, во всяком случае в изученной нами нижней части ее разреза, отсутствуют. Внутри разреза вулканогенной толщи встречаются покровы массивных лав пикритобазальтового состава, переслаивающиеся с базальтами. Их мощность варьирует от 1 до 50 м.

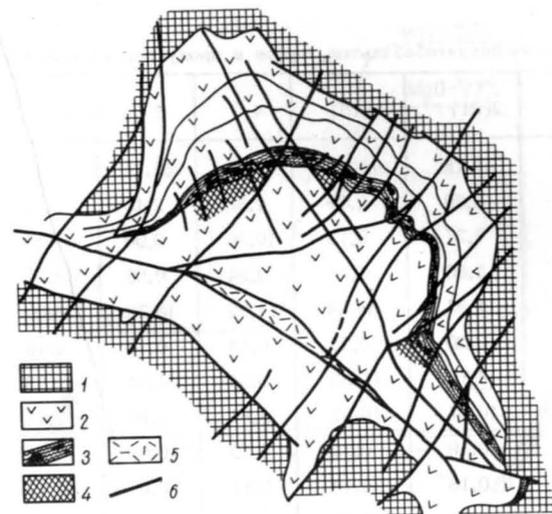


Рис. 1. Схема размещения продуктов начального пикритобазальтового вулканизма рудного поля Печенги.

1 – породы гранито-гнейсового фундамента, 2 – осадочно-вулканогенные породы печенгского комплекса, 3 – „продуктивная“ осадочная толща с интрузивами габбро-верлитовой никеленосной формации, 4 – площади распространения пирокластолитов пикритобазальтового состава, 5 – экструзивные андезитовиды горы Порьыташ, 6 – разломы.

И почти всегда пикритобазальтовые покровы отделены от базальтовых прослоями терригенных сульфидно-углеродистых алевролитов.

На площади рудного поля продукты начального пикритобазальтового вулканизма имеют дискретное распределение, образуя три изолированных ареала (рис. 1). Наибольшую площадь занимает западный ареал. Его представляет выдержанный горизонт вулканогенно-осадочных пород мощностью около 100 м, прослеженный западнее Соукера на 13 км. В его разрезе выделяются три трансгрессивных ритма. Каждый ритм в идеальном виде имеет четырехчленное строение. В основании залегает маломощный слой грубопсаммитовых туфов с крупными фрагментами карбонатных и вулканогенных обломочных пород, выше располагаются однородные псаммитовые туфы, затем более тонкие темно-серые туфы, обогащенные сульфидным веществом, и завершают ритм терригенные слоистые алевропсаммиты.

Пикритобазальтовая природа этих пород уверенно устанавливается геохимическими исследованиями. Они, как и лавовые образования пикритобазальтового состава, отличаются высокими концентрациями хрома, никеля и низкими – натрия и калия (табл. 1). Реально же ритмы имеют урезанный состав, причем чаще отсутствуют верхние члены ритма. К флангам уменьшаются мощности нижних туфогенных членов ритмов. Однородность строения горизонта, наличие выдер-

Таблица 1

Химический состав пикритобазальтов, туфов и продуктов их переотложения (в %)

Компоненты	1(12)	2(21)	3(15)	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	46,1	47,79	44,50	49,75	52,24	53,1	51,3
TiO <sub>2</sub>	2,31	2,28	2,51	2,38	2,45	3,29	3,75
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,64	7,77	9,15	10,86	9,00	11,63	13,27
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,96	3,95	3,74	2,24	0,99	4,52	5,52
FeO	11,88	11,97	14,34	14,92	13,73	13,90	13,12
MnO	0,20	0,20	0,25	0,13	0,14	0,10	0,11
MgO	15,67	14,70	15,09	15,64	14,31	9,38	5,14
CaO	11,81	10,97	10,07	3,84	6,96	2,91	4,77
Na <sub>2</sub> O	0,33	0,19	0,19	0,10	0,08	0,74	2,05
K <sub>2</sub> O	0,05	0,18	0,18	0,11	0,07	0,42	0,96
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,23	0,21	0,22	0,20	0,20	0,14	0,12
S <sub>вал</sub>	0,32	0,32	0,98	0,47	0,42	2,13	2,16
Cu	0,024	0,018	0,019	0,018	0,017	0,014	0,019
Ni	0,073	0,100	0,097	0,072	0,069	0,050	0,065
Co	0,010	0,010	0,010	0,010	0,009	0,007	0,007
Cr	0,132	0,126	0,100	0,110	0,095	0,110	0,140
V	0,028	0,030	0,029	0,027	0,019	0,025	0,032
Zr	0,010	0,011	0,011	0,016	0,015	0,022	0,024
Nb	0,002	0,002	0,002	0,002	0,0025	0,0035	0,0035

Примечание. Средние составы: 1 – дифференцированных покровов, 2 – недифференцированных лавовых образований, 3 – агломератовых туфов. Состав вулканогенно-осадочных пород: 4 – туф грубопсаммитовый, обр. 2990/932; 5 – туф тонкопсаммитовый, обр. 2990/906; 6 – туф алевропсаммитовый, обр. 2990/899; 7 – алевролит, обр. П1811. Здесь и в табл. 2 в скобках – число усредненных анализов. Весовые проценты приведены к 100% безводного вещества.

жанной трансгрессивной ритмичности позволяют говорить о том, что в западной части рудного поля мы имеем дело с удаленными фашиями пикритобазальтового вулканизма. К сожалению, изменений фашиального состава по падению горизонта установить не удалось, так как даже самые глубокие скважины из-за крутого падения слоев вскрывают его всего лишь на удалении 1 км от линии выхода на дневную поверхность.

Второй ареал распространения пикритобазальтовых вулкаников на участке Мирона-Киерджибор включает собственно палеовулканическую постройку. Для этого участка характерны значительные вариации мощности и фашиального состава продуктов пикритобазальтового вулканизма на площади нескольких квадратных километров.

На участке Мирона скважинами вскрыт прижерловый конус, сложенный агломератовыми туфами, лавобрекчиями и лавами пикрито-

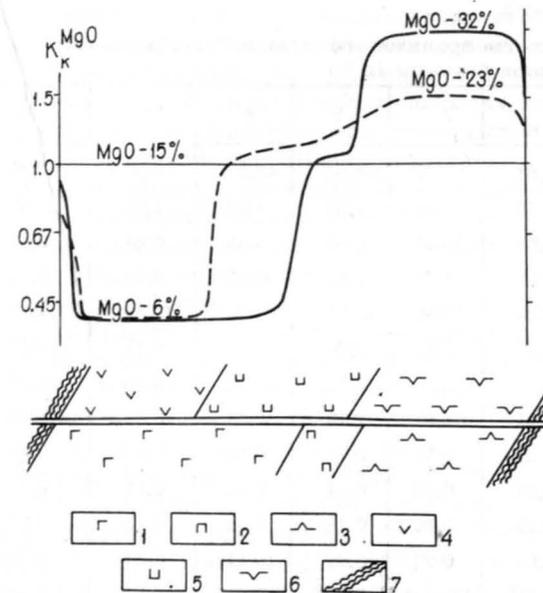


Рис. 2. График изменения содержания магнезии в разрезах дифференцированного покрова пикритобазальтового состава и никеленосного интрузива.

$K_K$  — коэффициент концентрации или отношение содержания магнезии в реальной породе и в исходной пикритобазальтовой магме. Породы никеленосного интрузива (сплошная линия): 1 – габбро, 2 – пироксенит, 3 – перидотит; породы вулканического покрова (штриховая линия): 4 – микрогаббро, 5 – авгитовый кумулят, 6 – оливин-авгитовый кумулят, 7 – границы интрузива и покрова.

базальтового состава, мощностью около 600 м, которая быстро уменьшается во всех направлениях на расстоянии сотен метров. В районе предполагаемого вулканического аппарата в подстилающих породах скважинами подсечены зоны брекчирования, сцементированные магматическим материалом пикритобазальтового состава. Юго-восточнее, на расстоянии менее 1 км от него скважинами вскрыты линзы тонкообломочных туфов пикритобазальтового состава максимальной мощностью 400 м, представляющие собой, по-видимому, остатки приподошвенного шлейфа насыпного вулкана [2]. В разрезе прижерлового конуса в некоторых скважинах под грубообломочными прижерловыми фашиями устанавливаются такие же тонкие туфы. Данный тип разреза определяется динамикой разрастания прижерлового конуса.

Третий установленный ареал распространения пикритобазальтовых туфов располагается на участке Ламмас. Он недостаточно изучен. По характерному расположению грубообломочных туфов, со-

Таблица 2

Химический состав продуктов магматической дифференциации пикритобазальтовой магмы (в %)

Компо- ненты	1	2	3	4	5	6(48)	7(34)
SiO <sub>2</sub>	47,61	51,66	48,64	48,3	48,56	48,80	40,25
TiO <sub>2</sub>	2,54	3,32	1,93	1,35	1,25	3,00	1,08
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9,64	13,20	6,89	5,28	4,84	12,38	3,56
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,10	4,76	3,34	5,43	4,71	5,03	2,94
FeO	10,83	10,45	10,25	10,03	10,36	11,25	16,44
MnO	0,17	0,15	0,20	0,15	0,17	0,19	0,24
MgO	10,12	5,70	15,70	22,90	19,58	6,15	32,08
CaO	12,71	6,93	12,26	6,44	10,52	8,98	3,08
Na <sub>2</sub> O	1,27	3,68	0,70	0,10	0,03	2,81	0,15
K <sub>2</sub> O	0,04	0,12	0,04	0,02	0,01	0,72	0,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,22	0,36	0,18	0,12	0,12	0,36	0,12
S <sub>вэл</sub>	0,65	0,29	0,09	0,81	0,81	0,24	0,14
Cu	0,016	0,004	0,021	0,017	0,017	0,008	0,036
Ni	0,053	0,004	0,086	0,160	0,140	0,008	0,200
Co	0,008	0,005	0,009	0,013	0,011	0,004	0,016
Cr	0,086	0,003	0,130	0,190	0,180	0,013	0,310
V	0,025	0,028	0,023	0,013	0,014	0,020	0,009
Zr	0,015	0,022	0,012	0,008	0,007	0,019	0,006
Nb	0,003	0,004	0,002	0,0014	0,0016	0,003	0,0014

Примечание. Породы вулканического покрова, скв. 2987: 1 - зона верхнего эндоконтакта, интерв. 806-808 м; 2 - микрогаббро, интерв. 808-811 м; 3 - пироксеновый кумулят, интерв. 811-818 м; 4 - оливин-пироксеновый кумулят, интерв. 818-826 м; 5 - зона нижнего эндоконтакта, интерв. 826-827 м. Средний состав пород никеленосных интрузий Печенги: 6 - габбро, 7 - перидотит.

державших крупные обломки пород фундамента и расположенных в разрезе выше тонкообломочных туфов, можно предполагать, что здесь мы также имеем дело с остатками вулканической постройки.

Выше туфового горизонта в вулканогенной толще свиты матерт пикритобазальты представлены почти исключительно лавовой фацией. Преобладают единичные лавовые покровы, переслаивающиеся с доминирующими в разрезе толеитовыми базальтами. Реже встречаются горизонты, сложенные несколькими покровами пикритобазальтов. Таков горизонт шаровых лав, установившийся бурением на участке „Западная часть Луотинского разлома“, и горизонты пикритобазальтовых лав в нижней части свиты матерт восточнее р. Печенги. Туфы пикритобазальтового состава внутри вулканогенной толщи установлены лишь в нескольких точках.

Массивные покровы пикритобазальтов обычно дифференцированы. Степень дифференциации увеличивается с возрастанием их мощности.

При мощности менее 10 м дифференциация проявляется слабо. Покровы мощностью около 20 м всегда дифференцированы с четким разделением на верхнюю базальтовую и нижнюю пикритовую зоны примерно равной мощности. В более мощных покровах возрастает роль базальтового остатка при относительном постоянстве его состава и увеличивается основность пикритового кумулята.

Сопоставление покровов с никеленосными интрузивами показывает сходство их дифференциации. Остаточные продукты фракционирования - габбро-никеленосных интрузий и микрогаббро-пикритобазальтовых покровов - по химическому составу (рис. 2), по содержаниям малых элементов (табл. 2), по характерным взаимоотношениям породообразующих минералов - идиоморфизм пироксена, пегматоидные сростания пироксена и плагиоклаза - являются полными аналогами. Это обусловлено двумя причинами - близким составом родоначальных магм и котектической природой остаточных расплавов, из которых они кристаллизовались.

Кумулятивные дифференциаты никеленосных интрузий и вулканических покровов, напротив, существенно отличаются по составу. В первых это перидотиты с содержанием MgO 31-32% и подчиненные оливиниты с содержанием MgO 36%, во вторых - пикриты с содержанием MgO 21-22%, редко больше. Такое несоответствие должно свидетельствовать о различиях в механизме фракционирования. В вулканических покровах имело место простое гравитационное фракционирование, которое не могло привести к полному отделению оливина и пироксена от остаточного расплава, заключенного в промежуточных между кумулятивными кристаллами. В никеленосных интрузиях, по-видимому, имело место гравитационно-кинетическое фракционирование с адкумулятивным дорастанием, полностью вытесняющим остаточный расплав [6]. Простейшие расчеты показывают, что для получения состава перидотита из состава пикритового кумулята нужно вычестть около 30% остаточного расплава, что соответствует объему пор в массе, сложенной кристаллами пироксена и оливина. Но отделение остаточного расплава при адкумулятивной кристаллизации должно увеличить объемное соотношение между габбро и перидотитом в никеленосных интрузивах по сравнению с дифференцированными покровами. Если никеленосные интрузивы образовались из пикритобазальтовой магмы того же состава, что и эффузивные покровы, то соотношение объемов габбро и перидотитов в них должно быть 2:1, тогда как современные подсчеты дают примерно равное количество этих пород. Такое противоречие связано с соскладчатым характером никеленосных интрузий. При их кристаллизации остаточный расплав частично отделялся от кумулятивной зоны. Именно с этим, по мнению авторов, связана изменчивость соотношения габбро и перидотитов как в пределах одного массива, так и от массива к массиву. Наши исследования показали, что большинство тел так называемых габбродиабазов в центральной части разреза продуктивной толщи представляют собой отщепленные порции остаточного расплава никеленосных интрузий. От настоящих габбро-диабазов они отличаются идиоморфизмом пи-

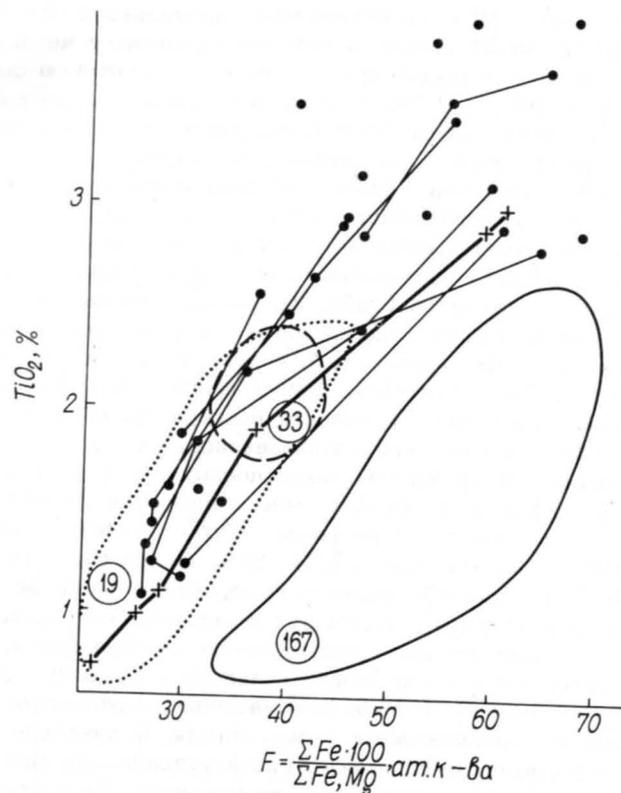


Рис. 3. Диаграмма состава магматических пород Печенги в координатах двуокись титана-относительная железистость.

Точки – породы дифференцированных вулканических покровов пикритобазальтового состава, тонкие линии соединяют дифференциаты одного покрова, кресты – средние составы пород габбро-верлитовой формации. Контуры: сплошной – толеитовые метабазалты и метагаббро-допериты, точечный – пикриты южной зоны Печенги, штриховой – недифференцированные пикритобазальты рудного поля Печенги. Цифры в кружках – количество анализов.

роксена и повышенным содержанием циркония и титана (рис. 3, 4). При их учете соотношение габбро и перидотитов в габбро-верлитовой формации Печенги приближается к расчетному.

Образование никеленосных интрузий и извержения пикритобазальтов не рассматриваются нами как единовременный процесс. Интрузивы формировались в позднеорогенную стадию после накопления многокилометровой толщи вулканитов свиты матер.

Сопоставление с никеленосными интрузивами приведено с тем, чтобы понять своеобразие пикритобазальтов и их место в процессе магматической дифференциации для правильной оценки их никеле-

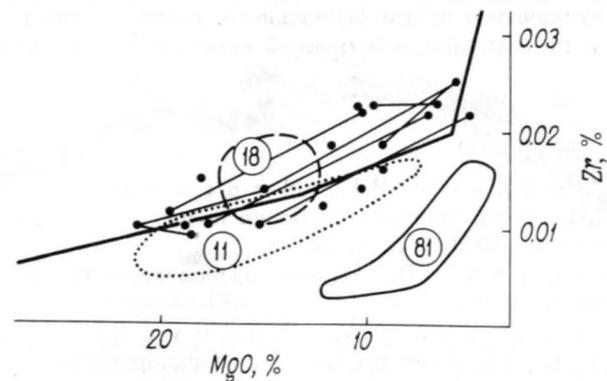


Рис. 4. Диаграмма состава магматических пород Печенги в координатах цирконий-магнезия.

Условные обозначения см. на рис. 3.

ности. В сравнении с интрузивами пикритовые покровы обладают только отрицательными для никеленосности признаками. Они имеют малые размеры тел, слабее дифференцированы и не содержат пород с высокой концентрацией никеля. Распределение рудогенных элементов в покровах определяется распределением главных породообразующих минералов, т.е. имеет силикатно-окисную природу. Сера, наоборот, распределена крайне неравномерно и не коррелируется с содержанием рудогенных элементов. Кроме того, в пикритобазальтах не наблюдается признаков гидротермального преобразования пород, обычно сопровождающих оруденение. Все это позволяет сделать вывод, что вероятность обнаружения промышленного медно-никелевого оруденения в дифференцированных вулканических покровах очень мала.

Что касается поисков медно-никелевых руд, связанных с магматическими каналами под вулканическими аппаратами, то эти перспективы еще более эфемерны. Единственный выявленный в настоящее время вулканический аппарат перекрыт мощной толщей пород. Его подошва находится на глубине более 1 км. Магматический канал под ним не подсечен и, по-видимому, имеет небольшой диаметр. Первично вертикальное его положение должно быть неблагоприятно для дифференциации и образования пород-концентраторов рудогенных элементов. Кроме того, столбообразное тело на большой глубине трудно проверять бурением.

Все сказанное приводит к выводу о нецелесообразности проведения буровых работ для поиска медно-никелевого оруденения в пикритобазальтах. Изучение же вулканических проявлений пикритобазальтового состава, вскрываемых попутно при разведке и поисках месторождений, связанных с интрузивными образованиями, следует продолжать в следующих направлениях: а) уточнение временных взаимоотношений интрузивного и эффузивного магматизма, б) уточ-

нение состава исходных магм, в) выявление центров пикритобазальтового вулканизма путем фациального анализа вулканогенных накоплений и г) изучение собственной никеленосности вулканитов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Загородный В.Г., Мирская Д.Д., Сулова С.Н. Геологическое строение печенгской осадочно-вулканогенной серии. 1964. М.; Л. 208 с.
2. Лучицкий И.В. Основы палеовулканологии. Т. 1. М., 1971. 480 с.
3. Предовский А.А., Жангуров А.А., Федотов Ж.А. Эволюция состава базит-гипербазитовых пород и ее роль в формировании медно-никелевого оруденения Печенги // Проблемы магматизма Балтийского щита. Л., 1971. С. 166-176.
4. Предовский А.А., Федотов Ж.А., Ахмедов А.М. Геохимия печенгского комплекса. Л., 1974. 139 с.
5. Русанов М.С., Верник Л.И. Об эффузивной фации базит-гипербазитового магматизма печенгского комплекса // Геология и разведка. 1979. № 7. С. 45-51.
6. Уэйджер Л., Браун Г. Расслоенные изверженные породы. М., 1970. 552 с.

Ю.А. Астафьев, Г.И. Горбунов,  
Ю.В. Гончаров, В.С. Котов,  
А.У. Корчагин, В.С. Ланев,  
С.В. Соколов, В.А. Тельнов,  
Ю.И. Филимонов

## СТРУКТУРНЫЕ УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В ПЕЧЕНГСКОМ НИКЕЛЕНОСНОМ РАЙОНЕ

Печенгский никеленосный район, расположенный на северо-западе Печенгско-Варзугской структурно-фациальной зоны карелид, сложен четырьмя четко стратифицированными толщами вулканогенно-осадочных пород печенгской серии общей мощностью около 10 000 м. Эти породы налегают на гранито-гнейсы кольско-беломорского комплекса, образуя сложный асимметричный грабен-синклинорий, вытянутый в северо-западном направлении и обращенный выпуклой частью к северо-востоку, с падением пород в южных румбах под углом 30-50°. На фоне этой главной синклинали структуры породы печенгской серии смяты в поперечные и продольные складки, оси которых ориентированы в направлении общего падения и простиранья пород. Из дизъюнктивных нарушений особо следует отметить

© Ю.А. Астафьев, Г.И. Горбунов, Ю.В. Гончаров,  
В.С. Котов, А.У. Корчагин, В.С. Ланев, С.В. Соколов,  
В.А. Тельнов, Ю.И. Филимонов, 1990

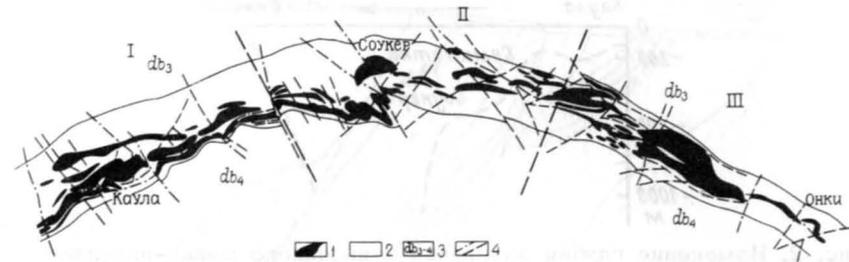


Рис.1. Схема размещения рудных узлов в Печенгском рудном поле.

1 - интрузивы основных и ультраосновных пород; 2 - продуктивная туфогенно-осадочная толща, 3 - вулканиты третьего и четвертого покровов, 4 - разрывные нарушения, I-III - рудные узлы.

глубинный Порьиташский разлом северо-западного направления, который фиксирует осевую часть грабен-синклинория, и оперяющий его внутрiformационный Луоттинский разлом. В последние годы им отводится важная роль подводных каналов, по которым поступала никеленосная магма [2, 5]. Наряду с разрывами секущего характера выделяются межпластовые зоны надвигов, проявившиеся параллельно нижним границам вулканогенных покровов. Подобные зоны, развившиеся в четвертой (продуктивной) туфогенно-осадочной толще, являются важнейшими рудоконтролирующими структурами.

Практически все никеленосные интрузивы Печенги размещаются в продуктивной туфогенно-осадочной толще, заключенной между вулканитами третьего и четвертого покровов. Лишь небольшая часть их выявлена за ее пределами. Сравнение площадей распространения пород в центральной, наиболее изученной части продуктивной толщи на современном эрозионном срезе показало, что туфогенно-осадочные образования занимают примерно 50%, габбро-диабазы - 26%, никеленосные интрузивы - 24%, причем с небольшими колебаниями это соотношение выдерживается здесь на всем протяжении. Однако все известные интрузивы базит-гипербазитов с промышленным медно-никелевым оруденением сосредоточены только в пределах площади, ограниченной с запада месторождением Каула, с востока - Онки, с севера - продуктивной толщей, погружающейся под вулканиты четвертого покрова, с юга - Луоттинским разломом. Большинство исследователей именно этот участок подразумевают сегодня под Печенгским рудным полем.

Размещение никеленосных интрузивов и связанных с ними месторождений и рудопоявлений в рудном поле контролируется элементами складчатой и разрывной тектоники. С одной стороны, большая часть никеленосных интрузивов приурочена к широкому и глубокому поперечному прогибу печенгской структуры, так называемому структурному желобу, а в его пределах - к замковым частям поперечных синклиналиных складок более высокого порядка, развитых в туфогенно-осадочной толще. С другой стороны, их размещение в

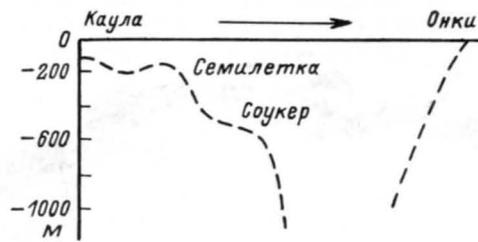


Рис. 2. Изменение глубин залегания сульфидного медно-никелевого оруденения в Печенгском рудном поле.

продуктивной толще контролируется разветвленной межпластовой тектонической зоной. Именно на сочлениении этих благоприятных структурных элементов сформировались главные геологоструктурные типы печенгских месторождений [4].

Небольшие интрузивные тела никеленосных базит-гипербазитов и связанных с ними рудопроявлений, расположенные за пределами продуктивной толщи, установлены в центральной части рудного поля, на участке Пахтаярви-Колосйоки. Они залегают среди диабазов третьего покрова и приурочены к зоне крутопадающих диагональных тектонических нарушений северо-западного направления. Последние хорошо проявлены в подошвенной части продуктивной толщи и на данном участке выходят за ее пределы в нижележащие породы.

Рудное поле можно разделить на три блока или рудных узла (рис. 1): I - Западный (Каула-Семилетка), II - Центральный (Соукер-Мирона) и III - Восточный (Киерджипор-Онки). В Западном рудном узле крупные поперечные складчатые и сопровождающие их разрывные нарушения имеют преимущественно северо-западную ориентировку, межпластовые нарушения представлены зонами дробления пород, никеленосные интрузивы образуют тела, вытянутые по простиранию и падению на сотни-тысячи метров; месторождения слагают единый рудоносный горизонт, расположенный в верхней части продуктивной туфогенно-осадочной толщи; рудные тела характеризуются значительной мощностью и содержат, как правило, богатые руды, оруденение прослеживается на глубину до отметки -250 м.

В Центральном рудном узле крупные поперечные складки и сопряженные с ними разрывные нарушения сохраняют северо-западное господствующее направление. Межпластовые нарушения чаще представлены зонами смятия; никеленосные интрузивы образуют как крупные, так и мелкие тела; месторождения и рудопроявления размещаются уже не в одном, а в трех рудоносных горизонтах по всему разрезу продуктивной толщи. Участок характеризуется постепенным увеличением с запада на восток протяженности рудных тел по падению (рис. 2), преобладанием многочисленных мелких рудных тел с бедным вкрапленным оруденением и редкими скоплениями богатых руд. Как уже отмечалось, ряд диагональных разрывных нарушений продолжается в подстилающие продуктивную толщу вулка-

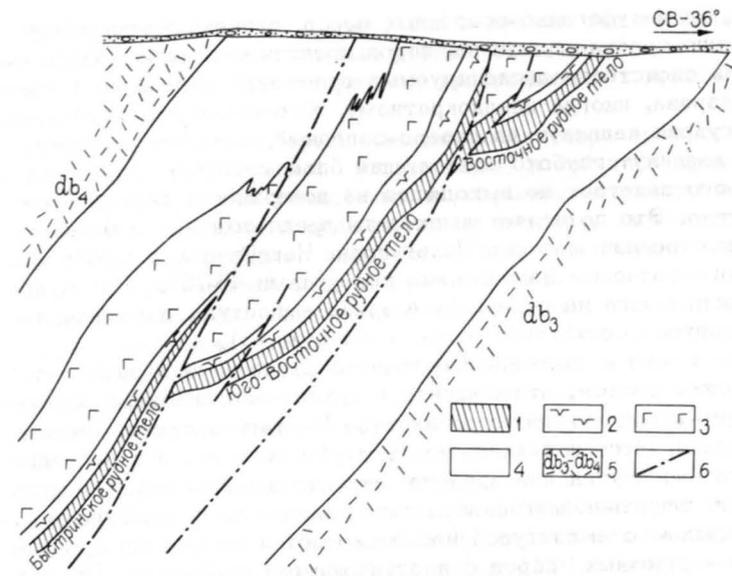


Рис. 3. Схема блоково-чешуйчатого строения массива Пильгуярви.

1 - оруденелая часть массива, 2 - ультраосновные породы, 3 - габбро, 4 - туфогенно-осадочные породы, 5 - вулканы третьего и четвертого покровов, 6 - разрывные нарушения.

ниты и контролирует размещение никеленосных интрузивов за пределами продуктивной толщи (Пахтаярви, Колосйоки).

В Восточном рудном узле поперечные складчатые структуры и секущие разрывные нарушения имеют преимущественно северо-восточную ориентировку; межпластовые нарушения представлены зонами смятия и дробления пород; никеленосные интрузивы образуют главным образом крупные дифференцированные тела, с которыми связано преимущественно бедное вкрапленное оруденение, прослеженное по простиранию на 1000 м и более и по падению до отметок -1000 ÷ -1200 м. Залежи богатых руд встречаются реже, чем в Западном рудном узле. Рудоносные массивы размещаются в продуктивной толще тремя-четырьмя горизонтами. Главные рудопокализующие структуры устойчиво протягиваются по падению.

Центральное место в структуре Восточного рудного узла занимает сложно построенный, дифференцированный массив Пильгуярви, имеющий блоковое строение. Г.И. Горбунов [1] рассматривал эти блоки как составные части единого рудоносного массива, разбитого субширотным крутопадающим разрывным нарушением сдвиго-надвигового характера, выявленным в близповерхностной части. В последнее время получены новые данные, подтверждающие и развивающие это представление. Работами ГРС ГМК «Печенганикель» установлено наличие нескольких мощных тектонических нарушений между отдельными его блоками, по которым произошли дислокации не только

массива, но и туфогенно-осадочных пород, причем перемещение моноклинально залегающих пачек пород практически не изменило ориентировки слоистости дислоцируемых отложений и привело к сдвигу разреза, иногда неодинократному. Юго-восточный блок массива Пильгуярви надвинут на северо-западный, а на него в свою очередь надвинут глубоко залегающий блок массива, в лежачем боку которого залегают не выходящее на поверхность Быстринское рудное тело. Это позволяет высказать предположение о блоково-чешуйчатом строении массива Пильгуярви. Чешуйчатые надвиги наклонены в юго-западном направлении под углами 45-70°. Надвигание происходило с юга на север. Суммарная амплитуда перемещений вдоль надвигов составляет около 1 км (рис. 3).

Особое место в строении Восточного рудного узла занимает Киерджипорский разлом, относящийся к группе диагональных нарушений северо-западного простирания типа Пахтаярвинского. Разлом хорошо фиксируется в вулканитах третьего покрова, а в последние годы детально изучен и в пределах продуктивной толщи. Он представляет собой сдвиг-надвиг с поднятым западным и опущенным восточным крылом с амплитудой несколько сотен метров на границе туфогенно-осадочных пород с подстилающими диабазами. По ряду признаков он относится к дорудным долгоживущим нарушениям и по времени заложения является более ранним, чем межпластовая зона. Движения по разлому привели к образованию оперяющих разрывных нарушений, вытянутых в западном и восточном направлениях, приразломных складок и полостей отслоения в продуктивной толще и к локализации в них мелких никеленосных интрузивов и связанных с ними рудных тел.

Выявленную рудоконтролирующую роль этого разлома необходимо учитывать при постановке поисковых работ. Разрывные нарушения аналогичной ориентировки прослежены в продуктивной толще и подстилающих вулканитах третьего покрова, а также восточнее Киерджипорского разлома.

Таким образом, перспективы выявления новых месторождений в Западном и Центральном рудных узлах связываются прежде всего с прослеживанием на глубину главных рудоконтролирующих структур: крупных поперечных синклинальных складок и межпластовых тектонических зон и возможным проявлением в них слепых рудоносных интрузивов. Однако, судя по результатам изучения приповерхностной части Центрального рудного узла, в этом блоке скорее всего можно ожидать с глубиной небольшие и маломощные рудные тела того же масштаба, что и вблизи поверхности, преимущественно с бедным вкрапленным оруденением.

Перспективы обнаружения новых месторождений на глубине в Восточном рудном узле нашли прямое подтверждение при бурении Кольской сверхглубокой скважины, доказавшей продолжение рудоносных массивов по падению продуктивной толщи [3]. Прямые подтверждения наличия не только рудоносных массивов, но и продолжения конкретных рудных тел на значительных глубинах получены по месторождению Киерджипор, Центральному и Северному рудным те-

дам. При прослеживании этих массивов и рудных тел на больших глубинах выявлены новые, слепые рудные тела, локализованные в тех же благоприятных структурах, но приуроченные к другому рудному горизонту.

Достаточно высокая степень насыщенности территории Восточного рудного узла рудоносными интрузивами, устойчивое продолжение рудоконтролирующих складчатых и разрывных структур и размещение в них массивов и рудных тел на глубину, наличие слепых тел позволяют благоприятно оценивать здесь перспективы выявления новых месторождений медно-никелевых руд.

По мнению авторов, заслуживают также дальнейшего внимания и изучения следующие перспективные площади: 1) к северу от продуктивной толщи в поле вулканитов третьего покрова на участке Колосйоки-Онки; 2) к югу от продуктивной толщи в вулканитах четвертого покрова вблизи Луоттинского разлома; 3) восточный фланг Печенгской структуры (участок Луотти-Ламмас).

Наличие в вулканитах, которые подстилают продуктивную толщу, диагональных разломов, вмещающих рудоносные интрузивы, приуроченность рудопроявлений Пахтаярви и Колосйоки возможно к единому крутопадающему кососекущему разлому (Н.И. Захарова, Г.П. Дудкина); строение рудоносных массивов, неоконтурность рудопроявлений по падению и простиранию позволяют говорить о перспективах этого участка на поиски медно-никелевого оруденения.

Район Луоттинского разлома в последние годы привлекает все большее внимание геологов. Имеющиеся материалы свидетельствуют о том, что продуктивная толща, насыщенная никеленосными интрузивами, вылаживается в южном направлении и в районе Луоттинского разлома залегают на глубине менее 1000 м. На этом участке Печенгской структуры целесообразна постановка детальных геофизических работ и поискового бурения с целью выявления на доступных глубинах никеленосных интрузивов и связанных с ними месторождений.

Определенные перспективы поисков никелевых руд можно связывать с глубокими горизонтами восточного фланга Печенгской структуры на участке Луотти-Ламмас. Об этом свидетельствуют: 1) выдержанность по падению и простиранию мощности и состава пород продуктивной толщи, перекрытой на данном участке вулканитами четвертого покрова в результате надвиговых движений пород южной мульды в северо-восточном направлении; 2) высокая насыщенность никеленосными интрузивами продуктивной толщи на данной площади; 3) погружение верхней границы рудоносных гипербазитов с промышленными концентрациями никеля к восток-юго-востоку от Ждановского месторождения на более глубокие горизонты под вулканиты четвертого покрова.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов Г.И. Геология и генезис сульфидных медно-никелевых месторождений Печенги. М., 1968. 352 с.

2. Горбунов Г.И., Гончаров Ю.В., Астафьев Ю.А. Геологическая позиция и направление поисков медно-никелевых месторождений в Печенгском рудном поле // Геология рудных месторождений. 1977. № 3. С. 19-25.

3. Генкин А.Д., Горбунов Г.И., Казанский В.И. и др. Рудная минерализация // Кольская сверхглубокая. М., 1984. С. 178-197.

4. Гончаров Ю.В., Астафьев Ю.А. Геологические типы медно-никелевых месторождений Печенгского и Аллареченского рудных полей // Магматические формации и рудоносность базит-гипербазитов Кольского полуострова. Апатиты, 1980. С. 90-100.

5. Кочнев-Первухов В.И., Баташев Е.В., Заскинд Е.С. Некоторые закономерности размещения интрузивных и рудных масс в объеме Печенгского рудного поля // Геология, петрология и геохимия медно-никелевых месторождений. М., 1977. С. 8-17. (Труды ЦНИГРИ; Вып. 127).

Ю.Н. Яковлев, Ю.Н. Нерадовский,  
А.К. Яковлева, С.М. Баржицкая

#### ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА И ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ИХ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Сложность минерального состава медно-никелевых руд определяется не столько многообразием минеральных видов, сколько наличием нескольких генераций главных минералов, отличающихся условиями развития, морфологией агрегатов и индивидов, широкими вариациями химического состава.

Отличительные особенности состава медно-никелевых руд Кольского региона обусловлены двумя причинами: а) ассоциацией их с различными комплексами базит-гипербазитов [2, 3] и б) неоднократным участием в процессах метаморфизма [4, 7]. Исследованиями последних лет подтверждена ведущая роль магматического этапа в формировании медно-никелевых руд, чем обусловлена близость состава сингенетических руд всех районов. Благодаря этому преобладающей ассоциацией их является: оливин, пироксен, шпинелид + + моносulfиды железа, никеля, меди; в базитах в ней часто отсутствует оливин, но есть плагиоклаз, а также нередко амфибол, пирит. Первичные минералы обладают устойчивым составом в пределах каждой формации (табл. 1), независимым от интенсивности оруденения, и сравнительно узкими пределами его изменения в целом для региона [4].

Для отдельных рудных залежей Печенги установлено "слоевое" распределение сульфидной вкрапленности в гипербазитах с концентрацией сульфидов в "слоях" 1-3, 5-10 и 25-35 об.%, что свидетель-

Т а б л и ц а 1

Состав главных породообразующих минералов вкрапленных руд в гипербазитах

Район, массив	Оливин		Пироксен ромбический		Пироксен моноклиный		
	f	NiO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	f	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO
Мончегорский (Сопча, НКТ)	$\frac{14-18}{15}$	$\frac{0,26-0,56}{0,36}$	$\frac{2,2-2,6}{2,4}$	$\frac{1,6-2,4}{1,9}$	$\frac{13-16}{14}$	$\frac{2,6-3,8}{3,3}$	$\frac{17,3-18,4}{18,0}$
Печенгский (Пильгярви)	$\frac{20-26}{23}$	$\frac{0,15-0,45}{0,28}$	-	-	$\frac{18-32}{23}$	$\frac{2,2-4,5}{3,2}$	$\frac{14,9-22,7}{20,2}$
Аллареченский (м-ния Аллареченское и Восток)	$\frac{20-28}{26}$	$\frac{0,23-0,28}{0,26}$	$\frac{0,9-2,3}{1,6}$	$\frac{0,0-0,9}{0,5}$	-	-	-
Ловноозерский (Суэйлагаш)	$\frac{22-24}{23}$	$\frac{0,16-0,24}{0,21}$	$\frac{1,4-2,4}{1,8}$	$\frac{0,2-1,0}{0,6}$	$\frac{13-16}{15}$	$\frac{1,3-2,6}{2,0}$	$\frac{21,6-23,7}{22,5}$

ствуется о проявлении камерной дифференциации. В залежах богатых вкрапленных и брекчиевидных руд выявлены два типа минералогеохимической зональности – концентрическая (симметричная) и столбовая (асимметричная); первая обусловлена фазовыми изменениями минерального состава в процессе кристаллизационной дифференциации рудного вещества, вторая – изменением концентрации сульфидного цемента при сохранении его качества [5 и др.]. Эти данные свидетельствуют о сохранении первичных магматических признаков распределения сульфидного вещества в метаморфизованных месторождениях.

Никеленосные базит–гипербазиты метаморфизованы в широком диапазоне РТ–условий, соответствующих зеленосланцевой (Печенгское рудное поле), амфиболитовой (Восточно–Печенгский и Аппареченский районы) и гранулитовой (Ловноозерский район) фациям регионального метаморфизма, что отвечает изменению температуры от 300–350 до 700–720 °С и давления от 2–3 до 5–7 кбар [1, 4, 7 и др.]. Наименее измененными являются породы крупных расслоенных массивов перидотит–пироксенит–габбро–норитовой формации (Мончегорский, Панских и Федоровой тундр и др.), хотя и в них прослеживаются аутометаморфические, приконтактовые и дислокационные преобразования.

Максимальные изменения минерального состава вкрапленных руд свойственны низкотемпературным условиям регионального метаморфизма (Печенгский район) и, наоборот, минимальные – высокотемпературным (Ловноозерский район), причем последние по этому признаку очень близки неметаморфизованным рудам (Мончегорский плутон). Вероятно, главной причиной такого феномена послужило то, что отклонения от первичных магматических условий для Печенгского района были максимальными, а для Ловноозерского минимальными [6 и др.]. И в целом специфика минерального состава (а также текстурно–структурных особенностей) метаморфизованных вкрапленных руд определяется главным образом набором и интенсивностью развития вторичных силикатов, в первую очередь цепочечных (амфиболов) и листовых (сплюд, серпентинов, хлоритов).

Хотя определяющим фактором видовой состава вторичных силикатов являются РТ–условия метаморфизма, что фиксируется и во вкрапленных рудах региона, в химическом составе не только главные среди них, но и многие второстепенные наследуют характерные особенности первичных пород и независимость от интенсивности оруденения. Например, кальциевые амфиболы в Ловноозерском районе при одних и тех же условиях гранулитовой фации в гипербазитах представлены паргаситовой и эденитовой роговыми обманками, а в базитах – чермакитовой; в массивах габбро–верлитовой формации развит актинолит с повышенным содержанием кальция и пониженным – алюминия, а в массивах гипербазитовой формации – актинолитовая и магнезиороговая обманки с дефицитом кальция и щелочей.

Все главные сульфиды и некоторые окислы являются „сквозными“ в процессе формирования оруденения и представлены в разных его генетических типах самостоятельными генерациями, различающи-

Т а б л и ц а 2

Доля никеля в общей сумме главных полезных компонентов ( $Ni/\sum Me$ )

Месторождение	$Ni/\sum Me$		
	I	II	III
НКТ	0,64	–	0,65
Сопча	0,69	–	0,60
Ловноозерское	0,66	0,67	0,82
Суэйнлагаш (рудопроявление)	0,52	0,55	0,75
Восток	0,61	0,64	0,70
Аппареченское	0,68	0,73	0,76
Карикиявр (рудопроявление)	0,52	–	–
Фланговое	0,66	0,67	0,68
Восточный рудный узел	0,70	0,69	0,67

Примечание. Использованы результаты опробования руд в процессе разведки; руды: I – рассеянно–вкрапленные, II – густо–вкрапленные, III – брекчиевидные и сплошные.

мися не только условиями нахождения, но и характерными чертами состава. Типоморфными для сингенетического оруденения являются троилит, пирротин гексагональный, пентландит железистый, кубанит, шпинелиды, а для эпигенетического – пирротин моноклинный, пентландит никелистый, пирит, поздний магнетит и др.

В ряду моносульфидов железа изоморфная примесь никеля в общем увеличивается от троилита к моноклинному пирротину, но величина ее зависит от многих причин, и данный ряд не всегда строго выдерживается. Пентландит характеризуется широким диапазоном изменения содержания всех металлов при довольно устойчивом содержании серы: сейчас в регионе известны его железистые, никелистые и кобальтистые разновидности (вплоть до кобальтпентландита), развитие которых часто является типоморфным. В общем случае пентландит из базитов обладает устойчивым составом при повышенном содержании никеля, а из гипербазитов – резкими колебаниями состава и развитием всех разновидностей. Железистый пентландит характерен для троилитовой ассоциации, никелистый – для ассоциации с моноклинным пирротинном или без него, но в парагенезисе с халькопиритом, миллеритом, борнитом, пиритом; кобальтистый пентландит – для железотитанового оруденения, а кобальтпентландит обнаружен в поздних антигоритовых жилах.

Важной геохимической характеристикой медно–никелевых руд является доля никеля в балансе трех главных полезных компонен-

Таблица 3

Состав сульфидной и оксидной фаз („суперконцентратов“) вкрапленных руд (в %) в различных месторождениях

Месторождение	Руда	Содержание компонентов				
		Ni	Cu	Co	Fe	S
Печенгское рудное поле	Средняя	9,6	4,9	0,15	48,9	37,1
	Краевая часть зональной залежи	6,7	2,0	0,1	53,4	37,8
	Центр зональной залежи	17,8	10,8	0,3	36,5	34,6
Аплареченское	Средняя	14,1	9,0	0,6	40,4	35,9
Восток	—	7,0	4,6	0,3	52,2	35,9
Ловноозерское	—	5,6	2,8	0,2	52,8	38,6
Суэйнпагаш	—	3,5	3,0	0,2	54,6	38,7
Сопча	Пласт 330	13,3	5,2	0,3	45,7	35,5
НКТ	Донная залежь	11,4	5,0	0,2	46,3	37,1

Примечание. Оксидная фаза печенгских руд имеет следующий состав (в %): Fe - 62,0, Ti - 3,7, Cr - 4,1, Al - 0,8, Mg - 0,3, V - 0,04, Ni - 0,12.

тов - никеля, меди и кобальта, или величина  $Ni / \sum Me$  (табл. 2). Примечательна устойчивость этого параметра как в однотипных рудах (изменяется в 1,33-1,37 раза), так и в целом для руд региона (изменяется в 1,57 раза), тогда как содержание никеля в однотипных рудах изменяется в 2-7 раз, а в целом более чем в 40 раз. При этом в большинстве месторождений величина  $Ni / \sum Me$  возрастает от бедных вкрапленных руд через богатые вкрапленные к брекчиевидным и сплошным, т.е. более „никелистыми“ являются богатые руды. Исключением являются сульфидные жилы Сопчи и брекчиевидные руды Восточного рудного узла Печенги - их „никелистость“ несколько ниже, чем вкрапленных руд. Эти данные свидетельствуют о том, что химический состав руд является их более „консервативной“ характеристикой, чем минеральный состав, и что отличительные черты химического состава руд отдельных структурных зон обусловлены главным образом первичными причинами, то есть имеют магматическую природу.

В процессе минералого-геохимических исследований получен значительный объем данных, необходимых для совершенствования технологии переработки руд, повышения полноты и комплексности их использования. Эта задача особенно актуальна сейчас, в связи с вовлечением в эксплуатацию руд с низким содержанием полезных компонентов, в которых значительно возрастает доля тонкой (менее 0,01 мм) вкрапленности сульфидов, обычно не извлекаемой при обогащении. Кроме того, в них выявлены беспиротитовые парагенезисы (пентландит-халькопиритовый, пентландит-миллеритовый с хизлелудитом, самородной медью, арсенидами и др.), что требует иных технологических решений. И в целом совершенствование технологии переработки руд должно опираться на детальное знание их минерального состава, текстур и структур, особенностей развития, химичес-

Таблица 4

Содержание никеля в сопутствующих минералах вкрапленных руд (в %)

Район, порода	Оливин	Пироксен ромбич.	Пироксен монокл.	Амфиболы	Серпентин, слюды
Печенгский	0,20	-	0,03	0,05	0,02
Аплареченский	0,21	0,05	-	0,06-0,14	0,11-0,17
Ловноозерский, базиты	-	0,05	0,02	0,07	0,07
Ловноозерский, гипербазиты	0,16	0,03	0,02	0,04	0,07
Мончегорский	0,21	0,03	0,04	-	-

Таблица 4 (продолжение)

Район, порода	Магнетит первичный	Магнетит вторичный	Ср-шпинелиды	Пирротин	Халькопирит	Пирит
Печенгский	0,16	0,09	0,12	0,47	0,01	0,10
Аплареченский	0,12	0,08	0,15	0,20	0,03	0,20
Ловноозерский, базиты	-	0,01	-	0,43	0,01	0,35
Ловноозерский, гипербазиты	0,06	0,00	0,06	0,58	0,01	0,13
Мончегорский	0,12	-	0,09	0,35	0,06	0,39

кого состава и физических свойств всей совокупности слагающих их минералов.

Такие сведения позволяют прогнозировать возможный состав продуктов („суперконцентратов“), которые теоретически могут быть получены в процессе переработки вкрапленных руд (табл. 3), а сравнение их с реальными концентратами поможет наметить пути повышения степени извлечения конкретных полезных компонентов. Так, для рядовых руд Печенги извлечение в концентрат никеля, меди и кобальта, по нашим данным, находится в пределах 50-60%, причем основным источником потерь никеля и меди являются, вероятно, мелкие нескрытые сульфидные вкрапленники. Возможность доизвлечения никеля в коллективный магнетит-пирротитовый концентрат, содержащий 1% никеля, может быть обеспечена только многофазными сульфидными или силикатно-сульфидными сростками, так как ни магнетит, ни пирротин такого содержания никеля обеспечить не могут (табл. 4). В окислах содержание никеля еще ниже и даже в окисном „суперконцентрате“ составляет всего 0,12% (табл. 3). На этом же основании маловероятно суждение о магнетите и пирротине как о главных источниках потерь никеля в хвостах обогащения руд.

Минералогические исследования показывают, что потери никеля (и других компонентов) обусловлены главным образом следующими причинами:

а) наличием силикатного и оксидного никеля, количество которого во вкрапленных рудах варьирует от 5 до 20 отн. %;

б) присутствием мелких вскрытых частиц сульфидов, по каким-то причинам не поддающихся флотации;

в) наличием очень тонких нескрытых включений сульфидов в силикатах. Поэтому повышение извлечения никеля возможно только за счет пентландита (и содержащихся в нем маккинавита и виоларита) из мелких включений сульфидов или тонких сростков их с силикатами.

В последнее время получены новые данные о распределении кобальта в основных минералах руд. Установлено, что в качестве важного носителя кобальта в некоторых рудах выступает пирит, развитие которого вызывает перераспределение кобальта между пентландитом – главным его концентратом – и образующимся пиритом. В результате количество заключенного в пирите кобальта достигает 25% и более его общего содержания в рудах. Это ставит задачу использования кобальтсодержащего пирита для более полного сквозного извлечения кобальта, которое сейчас не превышает 50%. Кроме того, из руд всех типов может быть повышено извлечение примесей селена, благородных металлов, кадмия и ряда других элементов (на основе анализа баланса их распределения и установления минералов-концентраторов), а из вкрапленных руд – получение хризотил-асбестовых и тальковых концентратов. В целом наиболее реальными путями повышения полноты и комплексности использования медно-никелевых руд региона нам представляются следующие: а) разработка эффективных способов обогащения бедных и тонковкрапленных руд; б) извлечение окисного железо-хром-титанового концентрата; в) извлечение хризотил-асбестового и талькового концентратов; г) разработка эффективных способов извлечения примесей селена, серебра, кобальта, кадмия и других редких элементов в полном объеме; д) переработка хвостов обогатительных фабрик (доизвлечение никеля, получение окисного, талькового и других концентратов).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Беляев О.А., Загородный В.Г., Петров В.П., Волошина З.М. Фации регионального метаморфизма Кольского полуострова. Л., 1977. 88 с.
2. Горбунов Г.И., Виноградов Л.А., Максеевский С.И., Яковлев Ю.Н. Базит-ультрабазитовый магматизм Кольского полуострова и его металлогения // Геология, петрология и корреляция кристаллических комплексов европейской части СССР. Л., 1982. С. 82–92.
3. Ефимов М.М., Докучаева В.С., Смолькин В.Ф., Радченко М.К., Бакушкин Е.М. Основные формационные типы базит-гипербазитов северо-восточной части Балтийского щита (периодизация и особенности размещения) //

Петрология и критерии оценки рудоносности докембрийских базит-гипербазитовых формаций Кольского полуострова. Апатиты, 1985. С. 3–15.

4. Минералогия сульфидных медно-никелевых месторождений Кольского полуострова / Ю.Н. Яковлев, А.К. Яковлева, Ю.Н. Нерадовский и др. Л., 1981. 352 с.

5. Нерадовский Ю.Н., Грибушин Г.М. Минеральная и химическая зональность залежей густовкрапленных руд одного медно-никелевого месторождения Печенги // Петрология, минералогия и геохимия. Апатиты, 1974. С. 221–226.

6. Яковлев Ю.Н., Яковлева А.К., Нерадовский Ю.Н., Осокин А.С., Балаболин Н.Л., Орсов Д.А. Основные закономерности изменения вещественного состава метаморфизованных вкрапленных медно-никелевых руд // Минеральные комплексы и минералы Кольского полуострова. Апатиты, 1980. С. 55–63.

7. Яковлев Ю.Н., Яковлева А.К. On the Role of Metamorphism in the Formation of Nickel-Copper Sulfide Deposits in the Kola Peninsula // Geology and Metallogeny of Copper Deposits. Berlin, 1986. P. 135–150.

В.П. Петров, Ю.Н. Нерадовский,  
А.У. Корчагин, А.Л. Грицай,  
Л.Ф. Складнева, А.И. Косяков,  
В.С. Жаров, Т.А. Трофименко

#### ПРОБЛЕМЫ ОСВОЕНИЯ ЗАБАЛАНСОВЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД ПЕЧЕНГСКОГО РАЙОНА

В последние годы прослеживается устойчивая тенденция по снижению полезных компонентов в добываемых медно-никелевых рудах. В ряде стран (Финляндия, Филиппины) в промышленную переработку вовлекаются бедные руды с содержанием никеля до 0,2%.

Поисково-разведочные работы в Печенгском районе показали, что существенное приращение рудной базы на данном этапе возможно лишь за счет бедных руд. Стала очевидной необходимость комплексного их изучения, включая вопросы запасов, геологии рудных залежей, минерального состава, технологии отработки и переработки, экономики. Предварительная оценка ресурсов бедных (забалансовых) руд в отвалах, эксплуатируемых объектах и в перспективных массивах ультраосновных пород показала, что они имеют значительные объемы и представляют большой практический интерес.

Бедные (забалансовые) руды, так же как и промышленные, пространственно и генетически связаны с никеленосными массивами габ-

© В.П. Петров, Ю.Н. Нерадовский, А.У. Корчагин,  
А.Л. Грицай, Л.Ф. Складнева, А.И. Косяков, В.С. Жаров,  
Т.А. Трофименко, 1990 165

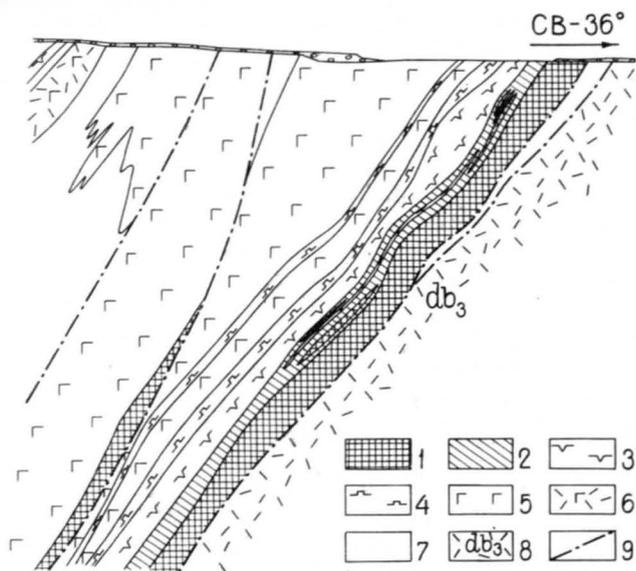


Рис. 1. Схематический геологический разрез одного из месторождений.

1 - промышленные руды, 2 - бедные (забалансовые) руды, 3 - серпентинизированные перидотиты, 4 - пироксениты, 5 - габбро, 6 - силлы габбро-диабазов, 7 - вмещающие метасадочные породы, 8 - эффузивные диабазы третьего покрова, 9 - тектонические нарушения.

бро-верпитовой формации и приурочены к их нижней метаперидотитовой части. Они присутствуют на всех эксплуатируемых месторождениях, где образуют пластообразные залежи, располагающиеся, как правило, над рудными телами, и являются как бы естественным продолжением последних в сторону висячего бока оруденелого интрузива (рис. 1). Морфология залежей, по предварительным данным, аналогична морфологии рудных тел и подчинена общей структуре вмещающих пород. В некоторых перспективных никеленосных массивах, где промышленное оруденение практически отсутствует, бедные руды иногда могут образовывать залежи в приподошвенной части интрузива.

Размеры залежей бедных руд обуславливаются прежде всего размерами самих рудоносных интрузивов и изменяются в широких пределах: от первых сотен до 1500-1800 м по простиранию и от 100 м до первых километров по падению. Обычно они выдержаны по мощности, которая колеблется от 1-5 до 100 м. Условия их залегания также подчиняются условиям залегания рудоносных интрузивных тел. Падение залежей большей частью сравнительно крутое (30-50°) в юго-восточном, южном и юго-западном направлениях.

В пределах залежей бедных руд встречаются линзы и прослои промышленного оруденения (рис. 2), которые по существующим кон-

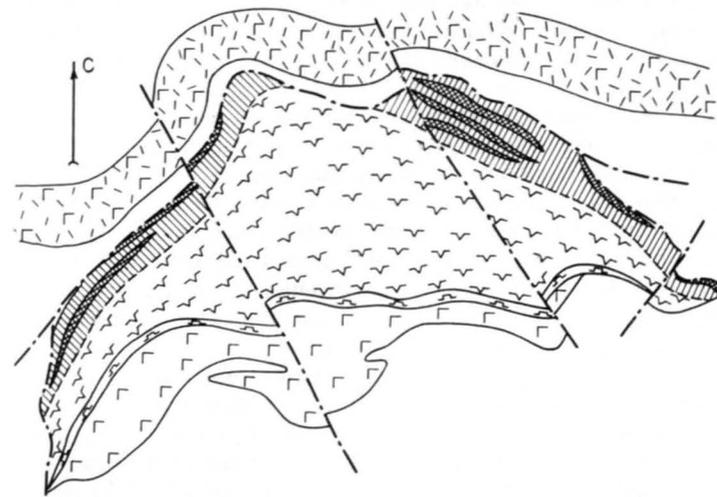


Рис. 2. Схематический геологический план массива Соукер.

Условные обозначения см. на рис. 1.

дациям (мощность пустого прослоя) не включены в состав рудного тела и поэтому либо остаются в недрах, либо поступают в забалансовые отвалы. При вовлечении бедных руд в эксплуатацию эти линзы и прослои будут извлекаться и поступать в переработку. В других случаях, когда рудные тела в приподошвенной части никеленосного массива не образуют единого тела, а разобщены на линзы и отработка их отдельно технически невозможна или нерентабельна, то при вовлечении бедных руд в эксплуатацию смежные рудные скопления объединяются в единый контур, что приводит к упрощению морфологии рудной залежи (рис. 2) и применению более эффективных способов ее добычи. Таким образом, вовлечение бедных руд в эксплуатацию позволит отработать участки промышленного оруденения, которые в настоящее время не используются. Это в свою очередь приведет к улучшению качества самих бедных руд и к более полному использованию недр.

Исходя из геологического строения залежей, их размеров, а также учитывая технические возможности быстрее вовлечения бедных руд в эксплуатацию, намечается следующая очередность значимости объектов: 1) забалансовые руды эксплуатируемых месторождений, 2) отвалы забалансовых руд, 3) бедные руды в ультраосновных массивах Киерджибор и Соукер, 4) бедные руды в более мелких перспективных массивах.

В связи с установлением нижнего предела содержания никеля в руде при опробовании керна скважин в настоящее время существует ряд проблем по оконтуриванию залежей бедных руд и их геолого-экономической оценке во многих никеленосных интрузивах Печенги. Интервал руд с содержанием никеля  $\pm 33\%$  бортового практически

не изучен в некоторых перспективных массивах, что существенно сказывается при оценке забалансовых руд с бортовым содержанием, уменьшенным на 33%. Решение данного вопроса сегодня является весьма актуальным.

Проблемы изучения минерального состава бедных руд, во-первых, связаны с определением характера и границ изменения его по сравнению с промышленными рядовыми рудами и влияния на технологию извлечения полезных компонентов методами флотации. Во-вторых, существует ряд проблем, связанных с влиянием минерального состава на процессы гидрометаллургической переработки.

Рассмотрим некоторые аспекты изменения минерального состава бедных руд, известные по результатам поисковых исследований, выполненных в Геологическом институте.

1. Уменьшение размеров сульфидных вкраплений. Данные гранулометрического анализа свидетельствуют, что более 50–80% сульфидной вкрапленности в бедных рудах попадает в классы крупности 0,01–0,05 мм. Учитывая, что существующая технология измельчения руд, идущих на обогащение, ориентируется на классы 0,044–0,074 мм [3]; очевидно, что одной из основных задач является изменение тонины помола для вскрытия тонких сульфидных выделений.

2. Изменение состава рудной минерализации. В табл. 1 приведены данные о составе рудной минерализации в печенгских породах и рудах в зависимости от концентрации сульфидов. Они показывают, что снижение концентрации сульфидной вкрапленности сопровождается изменением состава рудной минерализации, в том числе уменьшение доли пирротина в сульфидной вкрапленности и его полное исчезновение в наиболее бедных сульфидами породах. Параллельно с уменьшением доли пирротина увеличивается доля пентландита и частично халькопирита. При этом состав окисной минерализации практически не изменяется.

Можно полагать, во-первых, что наблюдающиеся изменения минерального состава потребуют и изменения используемых в настоящее время флотореагентов, во-вторых, они резко уменьшают эффективность магнитной сепарации в технологической цепочке в отношении извлечения никельсодержащих фаз и, в-третьих, весьма улучшат качество коллективного концентрата.

3. Изменение химического состава сульфидной фракции и минералов. Исследование химического состава сульфидных фракций бедных руд в связи с отмеченным выше изменением минерального состава показывает, что в процессе обеднения его пирротин и обогащения пентландитом сульфидная масса резко обедняется серой и железом и обогащается полезными компонентами: никелем, медью и кобальтом. Так, в диапазоне изученных составов (в %) от  $Po = 81$ ,  $Pnt = 14$ ,  $Cpy = 5$  до  $Po = 0$ ,  $Pnt = 75$  и  $Cpy = 25$  содержание элементов меняется:  $S$  – от 38 до 33%,  $Fe$  – от 55 до 31%,  $Ni$  – от 6 до 27%,  $Cu$  – от 1,5 до 8% и  $Co$  – от 0,1 до 0,3%. При этом резко изменяется также состав основного никелевого минерала – пентландита, который обогащается никелем от 34 до 38% и кобальтом от 1,2 до 2,3%

Т а б л и ц а 1

Изменение состава рудной минерализации в ультраосновных породах Печенги в зависимости от концентрации сульфидов [2]

Руда, оруденение	Число образцов	Общее содержание рудных минералов	Сульфиды				Окислы			Отношение сульфиды/окислы	
			Общее	Пирротин	Пентландит	Халькопирит	Общее	Магнетит	Хромшпинелиды		Ильменит
Богатая густовкрапленая	17	38,7	33,7	$\frac{22,3}{66,1}$	$\frac{7,0}{20,7}$	$\frac{4,4}{13,2}$	5,0	$\frac{1,4}{28,0}$	$\frac{3,3}{66,0}$	$\frac{0,3}{6,0}$	6,7
Рядовая рассеяно-вкрапленная	37	14,5	7,3	$\frac{4,6}{63,0}$	$\frac{1,5}{20,5}$	$\frac{1,2}{16,5}$	7,2	$\frac{3,5}{48,6}$	$\frac{2,7}{37,5}$	$\frac{1,0}{13,9}$	1,0
Рядовое пирротинное	39	8,4	2,5	$\frac{1,7}{56,0}$	$\frac{0,7}{28,0}$	$\frac{0,4}{16,0}$	5,9	$\frac{2,5}{42,4}$	$\frac{2,4}{40,7}$	$\frac{1,0}{16,9}$	0,4
Бедное беспирротинное	36	7,7	0,7	$\frac{0,5}{75,0}$		$\frac{0,2}{25,0}$	7,0	$\frac{4,2}{60,0}$	$\frac{2,1}{30,0}$	$\frac{0,7}{10,0}$	0,1

Примечание. Над чертой – среднее содержание минералов, под чертой – средний объем их в сульфидной или окисной массе; в группе хромшпинелидов объединены все хромистые фазы шпинелей.

Таблица 2

Особенности изменения состава сульфидной фракции бедных руд

Тип руды	Минеральный состав (объем в сульфидной массе), %	Химический состав сульфидной массы, %					Содержание элементов в пентландите, %	
		S	Fe	Ni	Co	Cu	Ni	Co
Рядовые	Пирротин, 81 Пентландит, 14 Халькопирит, 5	38	55	6	0.12	1.5	33.9	1.2
Бедные	Пирротин, 0 Пентландит, 75 Халькопирит, 25	33	31	27	0.33	7.7	37.8	2.3

Примечание. Приведены крайние значения составов сульфидных фаз по данным количественного минералогического анализа и средние значения содержания элементов в пентландите по данным микрозондового анализа.

(табл. 2). Этот геологический аспект, как и предыдущие, вероятно, потребует корректировки технологических условий флотации, обжига и др.

4. Изменение технологических сортов. Как показано выше, бедные руды располагаются в висячем борту рудных тел, удалены от контактов с вмещающими туфогенно-осадочными породами. С учетом известных тенденций изменения состава ультраосновных пород в связи с процессами метаморфизма [1] следует ожидать, что бедные руды будут ассоциировать прежде всего с серпентинитами и серпентинизированными перидотитами и меньше — с оталькованными и амфиболитизированными породами. Таким образом, среди них будут преобладать рядовые и труднообогащаемые и слабо развиты легкообогащаемые руды с флотоактивными минералами [4].

Таким образом, видно, что проблема эффективного использования бедных руд прежде всего связана с решением конкретных вопросов: определением параметров изменения вещественного и гранулометрического состава, химизма минералов, степени гидротермальных изменений и др., которые присущи определенному типу бедных руд, относящихся ныне к забалансовым. Без этого не могут быть успешно решены задачи технологической переработки, которые в свою очередь требуют изучения ряда принципиальных моментов.

С позиций горно-технических условий повышение степени использования руд Ждановского месторождения возможно как за счет совершенствования технологии их переработки, так и за счет улучшения качества извлечения запасов. Первое направление нашло отражение в проекте реконструкции обогатительной фабрики № 1 ГМК „Печенганикель“ на основе использования высокопроизводительного оборудования большой единичной мощности. Это мероприятие обеспечит повышение извлечения на 3%. Второе направление связано с решением вопросов технологии добычи руды, снижения кондиций и затрат на горно-транспортные работы, что нашло отражение в

Таблица 3

Содержание цветных металлов по классам крупности коллективного медно-никелевого концентрата

Класс крупности, мкм	Содержание, %		
	Никель	Медь	Кобальт
+ 100	4.912	4.393	0.159
- 100+ 74	4.457	3.854	0.147
- 74+ 44	5.547	2.948	0.186
- 44	5.954	2.642	0.203
Концентрат	5.687	2.970	0.192

задании на проектирование реконструкции Ждановского рудника. Вовлечение в переработку забалансовых руд позволяет увеличить производительность карьеров на 15–20%. Увеличение границ карьера на 80–100 м позволяет продлить срок существования открытых работ на 7–10 лет.

Обогащаемость забалансовых медно-никелевых руд исследовалась ЦИЛ ГМК „Печенганикель“. Показано, что, как и рядовые руды, они характеризуются разнотипностью и колебаниями технологических показателей. В среднем извлечение никеля в коллективный концентрат, содержащий 5% металла, составляет 48–50%. Повышение извлечения цветных металлов возможно за счет снижения качества концентрата, которое при соблюдении степени концентрации, аналогичной рядовым рудам, составит 2.5–3.0%, что не соответствует ГОСТу на концентрат ОФ-1 ГМК „Печенганикель“.

Характер флотации забалансовых руд аналогичен рядовым. Так, в рудном цикле флотации извлекается 80–90% халькопирита и пентландита, 50–60% пирротина. Однако в перечистной операции при получении готового медно-никелевого концентрата пирротин и сростки пирротина, а также магнетита депрессируются практически нацело, так как не обеспечивают кондиций на концентрат. Качество концентрата обеспечивается сульфидами, в основном пентландитом и халькопиритом крупностью менее 74 мкм (табл. 3).

В этой связи представляет интерес переход на комбинированную флотационно-гидрометаллургическую технологию переработки, что, по данным поисковых исследований, позволит повысить извлечение никеля на 10% (рис. 3). Возможны два основных варианта переработки забалансовых руд.

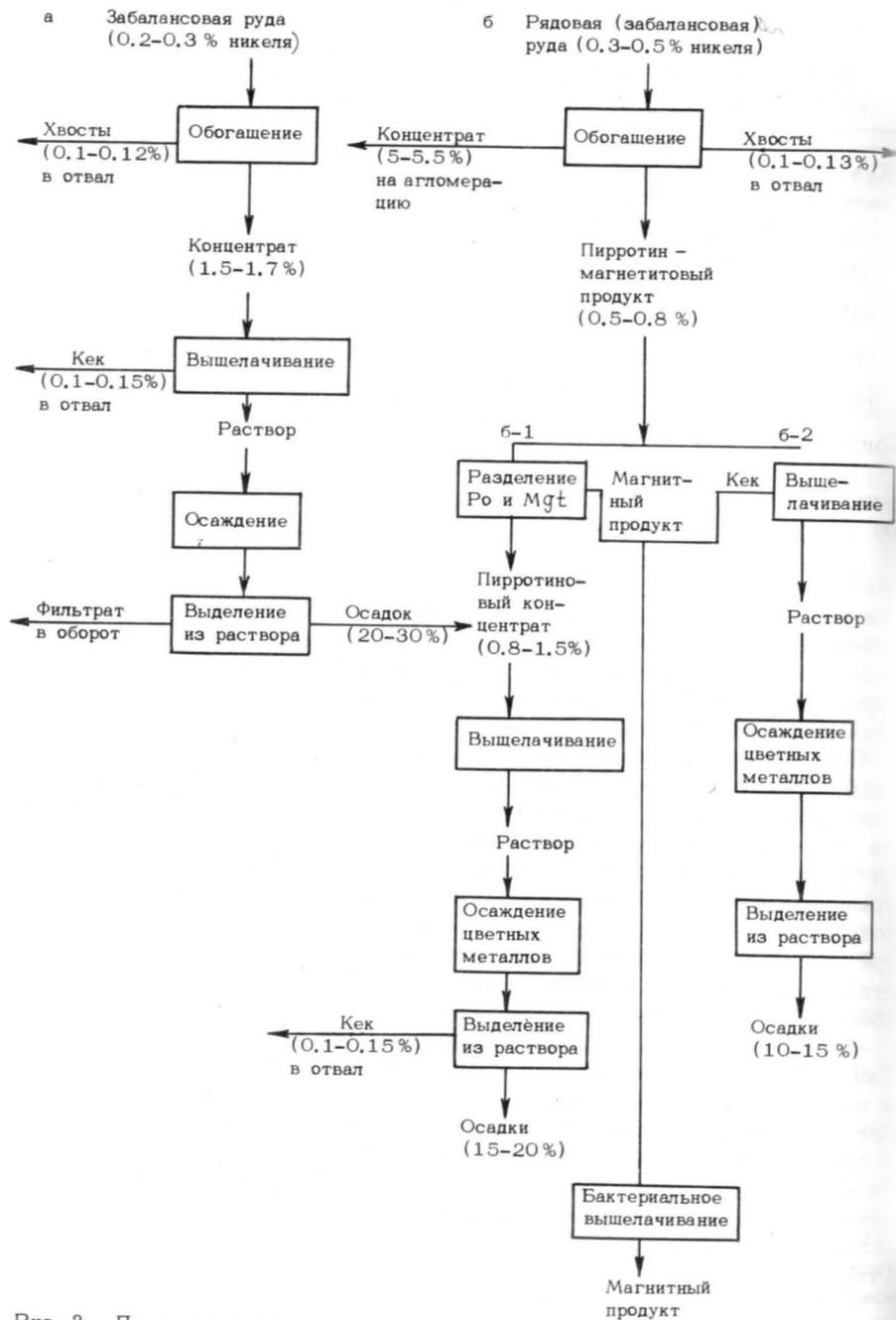


Рис. 3. Принципиальная схема комбинированной технологии переработки бедных медно-никелевых руд.

Первый вариант (рис. 3, а) заключается в получении на отдельной секции коллективного концентрата с содержанием 1,2–1,5% никеля и его последующим выщелачиванием. Извлечение никеля из забалансовых руд может быть увеличено до 60–80% за счет не только пентландита, но и пирротина, что в свою очередь позволяет значительно повысить извлечение кобальта в обогатительном переделе. Выщелачивание и осаждение металлов из раствора позволяет получить продукты, не требующие первичной пирометаллургической переработки; они могут быть товарными для комбината «Североникель».

Во втором случае (рис. 3, б) забалансовая руда обогащается в общем потоке с рядовой рудой. Химической переработке подвергается пирротин-магнетитовый продукт хвостов рудной флотации ОФ-1. Это позволяет не только повысить извлечение никеля на 5–8%, но и получить дополнительный кондиционный магнетитовый концентрат. При этом предполагается повысить извлечение кобальта за счет теряемого в настоящее время с пирротинном и магнетитом.

В Кольском филиале АН СССР экономические исследования в этом направлении проводились на протяжении ряда лет. На основе лабораторных исследований из забалансовых медно-никелевых руд получен черновой концентрат, из которого автоклавным выщелачиванием и осаждением выделен богатый концентрат (содержание никеля 20–30%). Последующая переработка последнего производится по существующей технологии. Ориентировочная оценка экономической эффективности такой комбинированной технологии переработки 1 млн. т/год забалансовых руд показала, что затраты на 1 руб. товарной продукции составили 0,89 руб.

Следует отметить, что оцениваемая технология имеет резервы для улучшения основных технико-экономических показателей: а) снижения расходов реагентов на обогащение в связи с получением черновых концентратов; б) получения концентратов с 20–30%-ным содержанием никеля, которые можно направлять в рафинировочный передел; в) в связи с комплексным подходом – возможность получения дополнительной продукции в виде магнетитового концентрата и т.д. Но самое главное то, что эта технология позволит отодвинуть период перехода комбината «Печенганикель» на трудно- и капиталоемкие подземные работы, снизить со временем кондиции на медно-никелевую руду, а следовательно, расширить минерально-сырьевую базу никелевых предприятий Кольского полуострова и снизить затраты на проведение дальнейших геологоразведочных работ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов Г.И. Геология и генезис сульфидных медно-никелевых месторождений Печенги. М., 1968. 352 с.
2. Нерадовский Ю.Н. Некоторые минеральные ассоциации в серпентинитах печенгского никеленосного комплекса и их

поисковое значение // Минералогические критерии комплексной оценки минерального сырья Кольского полуострова. Апатиты, 1982. С. 24–29.

3. Ревнивцев В.И., Капралов Е.П., Костин И.М., Круппа П.И., Яшин В.П., Вайсберг Л.А. Современные направления совершенствования техники и технологии дробления, измельчения, классификации руд и развития процессов селективного раскрытия минералов // Совершенствование процессов дробления, измельчения, грохочения и классификации руд и продуктов обогащения. Л., 1985. С. 3–22.

4. Спиридонов Г.В., Кравцова О.А. Геолого-технологические типы руд месторождений печенгского рудного поля. Л., 1985. С. 10–17.

М.В. Милиц, Н.И. Колпаков,  
Е.Я. Шенкман

МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКОЕ РАЙОНИРОВАНИЕ И ПРОГНОЗ  
МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД НА БАЗЕ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ  
МОДЕЛЕЙ РАННЕПРОТЕРОЗОЙСКИХ СТРУКТУР  
КОЛЬСКОГО ПОЛУОСТРОВА (ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ  
МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД В  
ПЕЧЕНГСКО-АЛЛАРЕЧЕНСКОМ РАЙОНЕ)

Промышленное медно-никелевое оруденение в северо-восточной части Балтийского щита концентрируется в пределах четырех рудных районов: Печенгского, Аллареченского, Ловноозерского и Мончегорского. При характеристике генетических и структурных взаимосвязей между ними обычно ограничиваются констатацией их общей приуроченности к региональной металлогенической зоне Печенга-Имандра-Варзуга [1]. Вместе с тем для каждого из рудных районов и соответствующих рудных полей устанавливается свой петрографический и петрохимический тип потенциально-рудноносных интрузивов, а закономерности структурной приуроченности месторождений всякий раз оказываются уникальными, характерными лишь для исследованных рудных полей.

Большинство исследователей единодушно в оценке ведущей роли ультрабазит-базитовых расплавов в переносе рудных компонентов из мантии к верхним уровням земной коры и в формировании первичных (сингенетических) руд. Напротив, по проблеме генезиса эпигенетических руд существуют значительные разногласия. Традиционным является представление о первично-магматическом происхождении их, сочетающееся обычно с теми или иными оценками дополнительного обогащения расплавов серой. С другой стороны, геологические особенности большинства месторождений медно-никеле-

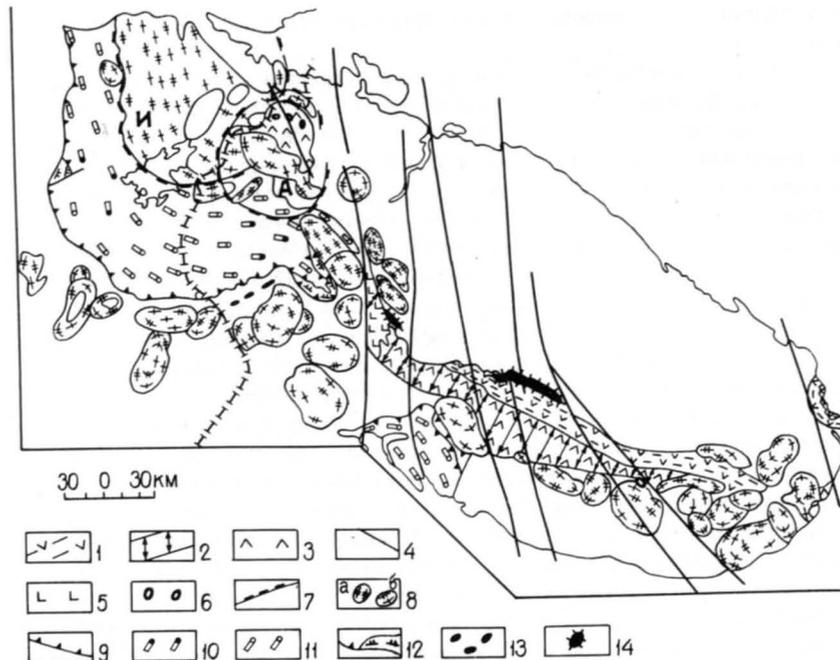


Рис. 1. Раннепротерозойские структуры Кольского полуострова.

Зеленокаменный пояс Печенга-Имандра-Варзуга: 1 – позднеархейские-раннепротерозойские вулканы стрельнинской серии; 2 – направление растяжения при формировании раннепротерозойского палеорифта; 3 – раннепротерозойские вулканы варзугской, печенгской и томингской серий; 4 – разломы трансформного направления; 5 – габбро-анортозиты Главного хребта в зоне трансформного разлома; 6 – габбро-вериты печенгского комплекса. Элементы сводовых поднятий: 7 – кольцевые ограничения поднятий (А – Печенгско-Аллареченского, И – Инари); 8 – гранит-мигматитовые купола, образованные раннепротерозойскими гранитоидами (а), реморфизованными позднеархейскими гранитоидами (б). Элементы тектонических покровов: 9 – надвиги; 10 – «основные» гранулиты; 11 – «кислые» гранулиты; 12 – эклогитизированные габбро-анортозиты в основании тектонических покровов; 13 – дунит-гарцбургиты (отторженцы верхней мантии); 14 – раннепротерозойские массивы перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации.

вых руд Кольского полуострова свидетельствуют о значительном временном разрыве между формированием син- и эпигенетических руд, что привело к появлению представлений о гидротермальном или метаморфо-метасоматическом образовании эпигенетических руд за счет переотложения первично-вкрапленных сульфидов и извлечения в сульфидную фазу силикатного никеля. Аналогичные представ-

ления нередко выдвигаются и при исследованиях месторождений других регионов.

В соответствии с подобными представлениями закономерности размещения богатых эпигенетических руд в месторождениях Кольского полуострова определяются сочетанием двух групп факторов: особенностями локализации никеленосных базит-ультрабазитовых интрузивов варьирующего состава и возраста, вмещающих сингенетическую рудную вкрапленность, и особенностями проявления гидротермально-метасоматических процессов, связанных с деятельностью серонесущих флюидных систем мантийного или корового уровня. Обоснованное прогнозирование новых месторождений медно-никелевых руд в пределах региона и новых рудных тел в пределах известных рудных полей возможно лишь при условии выявления взаимосвязей и благоприятных сочетаний факторов обеих групп.

Следует признать, что металлогенические и прогнозные разработки, основанные на анализе геологического строения рудоносных структур Кольского полуострова, опирающиеся на представления о независимо развивавшихся стабильных блоках и подвижных зонах [2], длительное время не приводят к положительным результатам. Назрела необходимость оценки места названных факторов в рамках новых теоретических представлений – с геодинамических позиций. Круг подлежащих рассмотрению проблем определяется формированием всех известных медно-никелевых месторождений Кольского полуострова в связи с раннепротерозойским тектоническим этапом (включая и месторождения Аппареченского района [9]).

Латеральный ряд закономерно сочетающихся раннепротерозойских структур Кольского полуострова (рис. 1) включает зеленокаменный пояс Печенга-Имандра-Варзуга; систему сводовых поднятий, к осевой части которых приурочен зеленокаменный пояс; участвующие в строении названных поднятий гранитоидные и мигматитовые купола; систему тектонических покровов Лапландских, Сальнотундровских и Колвицких гранулитов [7].

Палеогеодинамические реконструкции, опирающиеся на основные положения теории тектоники литосферных плит, позволяют обратиться к рассмотрению двух основных вариантов геодинамических моделей. В рамках обеих моделей предполагается, что формирование зеленокаменного пояса Печенга-Имандра-Варзуга первоначально осуществлялось в обстановке растяжения и завершилось в условиях сжатия. Однако амплитуда тектонических движений и относительная роль этапов сжатия и растяжения в создании реально наблюдаемой структуры оцениваются по-разному. Недостаточная разработанность вопросов, касающихся приложения теории тектоники литосферных плит к раннему докембрию, не позволяет даже при современном относительно высоком уровне изученности региона без специальных исследований отдать предпочтение одному из вариантов.

Первая модель – „континентального рифтогенеза” и ее металлогенические следствия рассмотрены нами ранее [7].

В рамках второй модели пояс Печенга-Имандра-Варзуга интерпретируется в качестве „сутурной зоны”. Анализ геохимических и

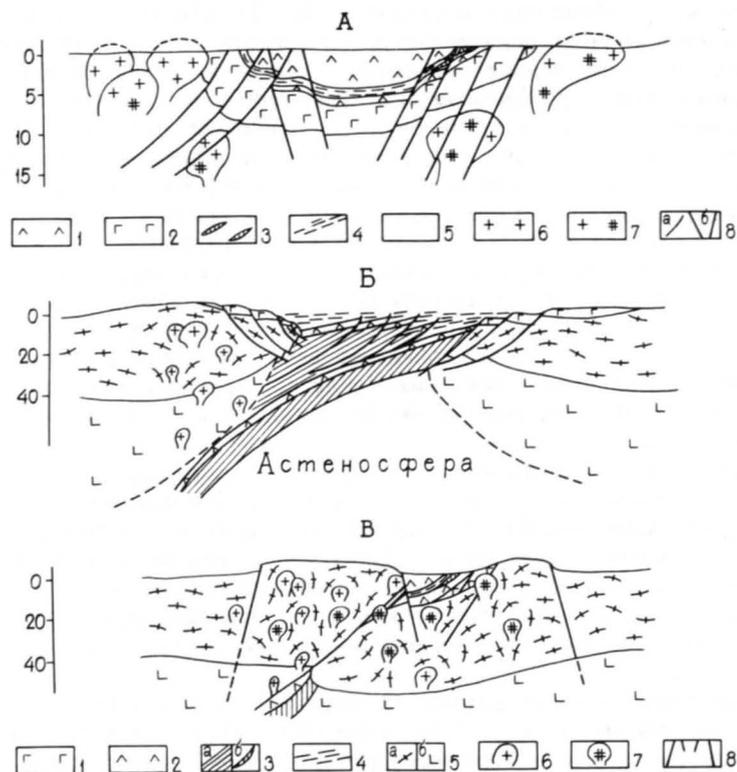


Рис. 2. Строение Печенгской структуры в рамках геодинамических моделей: А – „континентального рифтогенеза”, Б и В – „сутурной зоны”.

А. Базальтоиды: 1 – океанического типа, 2 – континентального типа; 3 – рудоносные габбро-верлиты; 4 – вулканогенно-осадочные породы „продуктивной толщи”; 5 – архейская континентальная литосфера; гранитоиды: 6 – раннепротерозойские, 7 – архейские, реоморфизованные в раннем протерозое; 8 – разломы: взбросо-надвиги (а), кольцевые сбросы (б). Б и В. 1 – вулканы стадии континентального рифтогенеза, 2 – базальтоиды океанического типа; 3 – базит-ультрабазиты: в разрезе океанической литосферы (а), тектонические отторженцы – кумулятивный комплекс океанической коры (б); 4 – вулканогенно-осадочные породы; 5 – континентальная литосфера: кора (а), мантия (б); 6 – раннепротерозойские („субдукционные”) гранитоиды; 7 – архейские гранитоиды, реоморфизованные в раннем протерозое („коллизийные”); 8 – кольцевые разломы, участвующие в строении сводового поднятия и центральной депрессии.

петрохимических особенностей вулканитов [3, 10] позволяет предполагать, что раскрытие раннепротерозойского палеорифта практически повсеместно достигало стадии микроокеана. За раскрытием следовала стадия сжатия, определившая его закрытие в результате субдукции океанического дна и столкновения континентальных микроплит, т.е. реализации полного цикла Уилсона. Такая модель позволяет представить Печенгу в качестве фрагмента коллизионной структуры, а „продуктивную толщу“ – в качестве аккреционной призмы („невулканической дуги“), включающей тектонические клинья офиолитов – отторженцев океанической литосферы или специфической коры, формировавшейся в условиях океанических островов или в зонах разломов трансформного типа. Это предположение обосновывается ассоциацией рудоносных габбро–верлитов с базальтами океанического типа третьего и четвертого вулканических покровов Печенги, а также с аналогичными базальтоидами, непосредственно входящими в состав „продуктивной толщи“.

В соответствии с моделью гранитно–купольные структуры южного обрамления пояса (рис. 1) могут рассматриваться в качестве эродированного основания магматической дуги на активной окраине микроконтинента над предполагаемой палеозоной субдукции, а структуры лапландских, сальнотундровских и колвицких гранулитов – в качестве тыловодужных надвигов. Близкая по палеогеодинамической трактовке модель зоны Печенга–Имандра–Варзуга предложена в работах [11, 12].

Со столкновением континентальных микроплит связывается тектоническое сжатие и соответствующее увеличение мощности континентальной коры, сопровождавшееся реоморфизмом гранитоидов, частичным плавлением нижней части коры и формированием сводовых поднятий (рис. 2). Подобные явления зафиксированы геологическими и изотопно–геохронологическими методами.

Место процессов рудообразования в рамках предложенных геодинамических моделей. Анализ геологической ситуации позволяет оценить тектоническую позицию и закономерности размещения и классифицировать тела базит–ультрабазитов, образующих первую группу факторов формирования и размещения сульфидных медно–никелевых руд. Во–первых, отметим особую роль процессов порфирообразования и важную роль трансформных разломов в размещении ультрабазитов, в том числе и рудоносных [7, 8]. Во–вторых, необходимо подчеркнуть уместность поддающегося проверке предположения о возможности интерпретации рудоносного печенгского комплекса габбро–верлитов в качестве кумулятивного „слоя“ океанической литосферы. Характерной особенностью габбро–верлитов является сочетание сульфидного медно–никелевого оруденения, титано–магнетитовой и феррихромитовой минерализации. Отметим, что наличие вкрапленности медно–никелевых сульфидов в типичных офиолитах отмечалось неоднократно.

Как отмечено выше, второй группой факторов определяются закономерности проявления гидротермально–метасоматических процессов, связанных с деятельностью серонесущих флюидных

систем мантийного и (или) корового уровня. Первоначальным источником серы медно–никелевых руд месторождений Кольского полуострова в соответствии с результатами изотопных исследований [9] является мантия. Общностью источника для серы и для никеленосных магматических расплавов определяются в целом близкие закономерности размещения соответствующих геологических образований. Зафиксировано несколько типов локализации сульфидизированных пород помимо первично–вкрапленных сульфидов медно–никелевых руд. 1) Непосредственно в области зеленокаменного пояса как в виде первично–осадочной вкрапленности в осадочных и туфогенных прослоях, обычно обогащенных органическим веществом [5], так и в виде рассеянной метасоматической вкрапленности в эффузивных породах и в виде жильобразных тел колчеданов в связи с мелкими разрывами и зонами трещиноватости. 2) В обрамлении пояса – преимущественно к югу от него (на „плечах“ рифта в рамках первой модели или над субдуцированной океанической литосферой в рамках второй модели); преобладающая часть сульфидной минерализации образована здесь или переработана метасоматическими процессами в зонах разрывных нарушений различных типов, в том числе – в зонах дугообразных или полукольцевых в плане срывов по контактам всплывавших гранитоидных и мигматитовых куполов. 3) В связи с зонами пологих тектонических нарушений, разделяющих отдельные покровы лапландских гранулитов. 4) В связи с зонами дуговых и полукольцевых разломов большого радиуса, участвующих в строении Печенгско–Аплареченского свода [6, 7], при пересечении ими пород как в пределах Печенгской структуры, так и в ее обрамлении.

Во всех перечисленных случаях образование повышенных концентраций серы связано, очевидно, с ее поступлением с мантийных глубин по зонам повышенной проницаемости. Это относится как к метасоматически сульфидизированным породам, так и к формируемым первично–осадочным концентрациям сульфидов близ мест высачивания гидротермальных растворов на дне бассейна осадконакопления (последнее – в рамках модели „континентального рифтогенеза“). В свою очередь преимущественное (нередко исключительное) развитие сульфидизированных пород в южном обрамлении пояса в соответствии с моделью „сутурной зоны“ может указывать на ремобилизацию серы, связанной с осадками и магматическими породами субдуцированной океанической литосферы.

Анализ расположения месторождений и рудопроявлений Печенгского, Аплареченского и Ловноозерского районов относительно дуговых и полукольцевых разломов Печенгско–Аплареченского свода [6] свидетельствует о приуроченности абсолютного большинства месторождений и рудопроявлений эпигенетических руд к участкам этих разломов. Эти особенности структурного контроля и одинаковый или близкий возраст эпигенетических руд названных рудных районов [9] позволяют рассматривать их формирование как результат взаимосвязанных процессов и объединять соответствующие месторождения и рудопроявления в составе концентрически–зональной Печенгско–Аплареченской металлогенической области. Удельная продуктив-

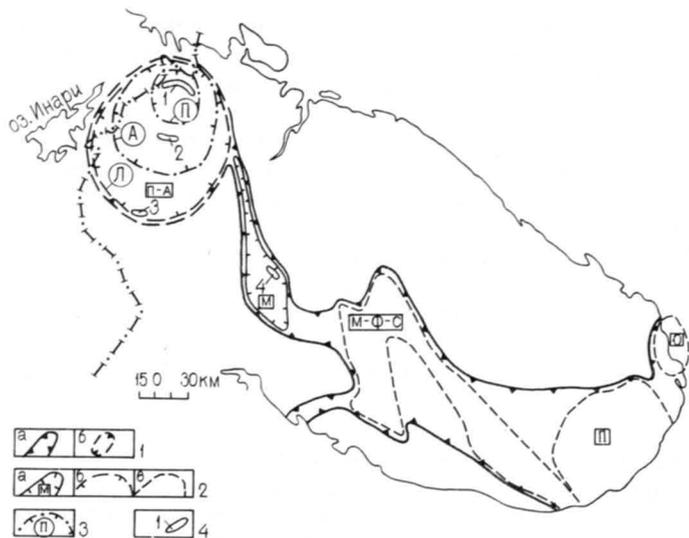


Рис. 3. Металлогеническое районирование Кольской раннепротерозойской медно-никелевой провинции.

Элементы металлогенического районирования: 1 - провинции с установленными (а) и предполагаемыми (б) границами; 2 - области с установленными (а) и предполагаемыми (б) границами, потенциальные (прогнозируемые) области (в) (П-А - Печенгско-Аппареченская концентрически-зональная, М - Мончегорская, М-Ф-С - Мунозерско-Федоровско-Стрельнинская, П - Пурначская, О - Орловская); 3 - подобласти (П - Печенгская, А - Аппареченская, Л - Ловноозерская); 4 - рудные поля (1 - Печенгское, 2 - Аппареченское, 3 - Ловноозерское, 4 - Мончегорское).

ность рудных полей закономерно убывает от центра области к ее периферии.

Металлогеническое районирование региона. Ареалу никеленосных раннепротерозойских структур соответствует Кольская медно-никелевая металлогеническая провинция (рис. 3). В западной части провинции располагается Печенгско-Аппареченская концентрически-зональная металлогеническая область. Ее центральной части отвечает Печенгская подобласть, включающая дугообразное в плане Печенгское рудное поле. Аппареченскому кольцеобразному поднятию (части сводового поднятия, обрамляющей Печенгскую депрессию) отвечает Аппареченская подобласть, включающая одноименное рудное поле. Внешней части отвечает дугообразная Ловноозерская подобласть. В контуре Аппареченской подобласти выделяется также потенциально-рудная Няаннаярви-Солозерская зона. Субмеридиональная полоса вдоль активного отрезка трансформного разлома Главного хребта, включающая Мончеплутон и Мончегорское рудное поле, образует Мончегорскую металлогеническую область.

В соответствии с металлогеническими особенностями модели «континентального рифтогенеза» к числу потенциальных металлогенических областей должны быть отнесены Пурначская и Орловская «центрические» структуры в участках латерального выклинивания отдельных звеньев палеорифта, а также пересечения зон рифтообразующих и трансформных разломов (Мунозерско-Федоровско-Стрельнинская область) [7] (рис. 3).

В рамках модели «сутурной зоны», помимо трансформных разломов, выводящих к поверхности глубинные мантийные расплавы, особое значение приобретают структуры типа аккреционных призм, сохранившиеся при коллизии континентальных микроплит. В связи с базит-ультрабазитовыми тектоническими клиньями подобных структур возможно формирование месторождений печенгского типа, причем состав рудоматеринских пород может и не быть идентичным габбро-верпитам печенгского комплекса.

Новейшие представления об эксгальационно-вулканическом генезисе цинксодержащих медно-никелевых руд типа Оутокумпу [4], формировавшихся в связи с образованием коры океанического типа, позволяют рассматривать структуру этого района также в качестве фрагмента аккреционной призмы. В соответствии с моделью «сутурной зоны» структурным и вещественным аналогом района Оутокумпу может оказаться Южнопеченгская зона. Подобные перспективные структуры, по-видимому, имеются в пределах южного ограничения Имандра-Варзугского отрезка, а также в пределах Куола-Выгозерского зеленокаменного пояса.

Потенциально-рудноносные структуры, аналогичные перечисленным, безусловно могут быть выявлены и в сопредельной гранитно-зеленокаменной области Карелии.

Анализ рассмотренных моделей позволяет обратиться к прогнозным построениям локального плана. Охарактеризованная выше зональность Печенгско-Аппареченской металлогенической области однозначно определяет в качестве наиболее перспективного объекта Печенгское рудное поле. Возможности обнаружения новых промышленных рудных тел на его глубоких горизонтах не могут считаться исчерпанными. В рамках разработанных моделей перспективы глубинных поисков связаны с прогнозируемым многоэтажным расположением рудных тел в местах пересечения «продуктивной толщи», насыщенной телами габбро-верпитов, дуговыми и полукольцевыми разломами, в том числе - ниже уровня известных месторождений. Конкретизация локального прогноза связана с анализом закономерностей глубинного размещения «рудоматеринских» габбро-верпитов. Ход анализа в свою очередь непосредственно связан с принятием в качестве основы одной или другой из предложенных моделей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горбунов Г.И., Астафьев Ю.А. и др. Структуры медно-никелевых рудных полей и месторождений Кольского полуострова. Л., 1978, 160 с.

2. Земная кора восточной части Балтийского щита. Л., 1978. 232 с.

3. Кременецкий А.А., Овчинников Л.Н. Геохимия глубинных пород. М., 1986. 262 с.

4. Медно-никелевые месторождения Балтийского щита / Под ред. Г.И. Горбунова, Х. Папунена. Л., 1985. 329 с.

5. Мележик В.А., Предовский А.А. Геохимия раннепротерозойского литогенеза (на примере северо-востока Балтийского щита). Л., 1982. 208 с.

6. Милиц М.В., Колпаков Н.И. Перспективы поисков медно-никелевых руд с учетом новых данных о строении Печенгской структуры // Разведка и охрана недр. 1984. № 10. С. 23-24.

7. Милиц М.В., Колпаков Н.И., Шенкман Е.Я. Геодинамическая модель и некоторые особенности формирования и размещения медно-никелевого оруденения Кольского полуострова // Геодинамические модели некоторых нефтегазоносных и рудных районов. М., 1987.

8. Митчел А., Гарсон М. Глобальная тектоническая позиция минеральных месторождений. М., 1984. 496 с.

9. Пушкарев Ю.Д., Кравченко М.П. и др. Геохимия изотопов свинца и серы в связи с проблемой генезиса сульфидного медно-никелевого оруденения // Новые данные по месторождениям никеля Кольского полуострова. Апатиты, 1984. С. 72-88.

10. Федотов Ж.А. Эволюция протерозойского вулканизма восточной части Печенгско-Варзугского пояса (петрогеохимический аспект). Апатиты, 1985. 119 с.

11. Berthelsen A., Marker M. Tectonics of the Kola collision suture and adjacent archaean and early proterozoic terrains in the northeastern region of the Baltic Shield (Part 1) // Tectonophysic. 1986. Vol. 126. P. 31-55.

12. Berthelsen A., Marker M. 1.9-1.8 Gd old strikeslip megashears in the Baltic Shield and their plate tectonic implications (Part 2) // Tectonophysic. 1986. Vol. 128. P. 163-181.

В.А. Тельнов, И.С. Бартнев

#### О ПРОМЫШЛЕННОЙ НИКЕЛЕНОСТИ РАССЛОЕННЫХ УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ ПЕЧЕНГСКО-ВАРЗУГСКОЙ ЗОНЫ

К группе расслоенных ультрамафит-мафитовых комплексов Печенгско-Варзугской зоны относятся крупные плутоны Федоровой-Панских тундр, Мончетундровский и массив Луостари. Главными представителями пород названных комплексов являются габбро, габбро-нориты и нориты. Ультрамафитовые дифференциаты в изучен-

ных к настоящему времени разрезах занимают подчиненное положение.

Потенциальная никеленосность интрузий сомнений не вызывает. Подтверждением этому служат почти повсеместная зараженность пород сульфидами медно-никелевой специализации - пирротином, пентландитом, халькопиритом, ряд небольших проявлений медно-никелевых руд, нередко с высокими содержаниями полезных компонентов. Однако сколько-нибудь значительных концентраций сульфидов никеля и меди в массивах пока не обнаружено, и вопрос об их промышленной никеленосности остается открытым.

Согласно общей схеме формирования магматических рудных месторождений [9], для образования сульфидов никеля и меди и концентрации их в промышленные залежи необходим ряд условий, главными из которых являются: 1) общий состав силикатной магмы и температура расплава, оптимальные для ликвации; 2) повышенные содержания в жидкой силикатной фазе никеля, меди и серы; 3) форма интрузивной камеры, обеспечивающая концентрацию отпиквировавшей сульфидной жидкости.

Валовый химический состав пород расслоенных комплексов Печенгско-Варзугской зоны отвечает составу высокоглиноземистого оливинового толеита [7, 11, 12 и др.]. Эволюция исходного магматического вещества интрузий осуществлялась по схеме, близкой к извлектово-щелочной (боуэновской), при заметном повышении кремнистости и очень слабом относительном увеличении железистости в серии остаточных расплавов. В этих условиях растворимость сульфидов в силикатной фазе снижается [3], что способствует интенсивному протеканию процесса ликвационной дифференциации.

Температура на контактах интрузивных тел на участках выклинивания, вблизи апофиз и силлоподобных отщеплений была невысокой, поскольку боковые породы здесь не претерпели существенных изменений под воздействием магматических масс (северо-восточная часть массива Луостари, западная оконечность массива № 1). Но уже на некотором удалении от участков выклинивания массивов вмещающие породы были подвержены ороговикованию, диоритизации, частичному плавлению. Далее интенсивность экзоконтактовых преобразований возрастает вплоть до формирования мощных зон пироксеновых диоритов (обрамление Мончетундровского массива, подстилающие породы в массиве Федоровой тундры). Согласно диаграмме Р.Н. Соболева и В.Г. Меламеда [6], температура самого расплава в пределах краевых частей интрузий не превышала 1200°С, а в области развития пироксеновых диоритов она достигала 1600°С и более (для случаев сухого расплава). Температуры этого порядка были достаточными для отделения сульфидной жидкости от силикатной [1]. При этом вязкость магматической среды поддерживалась на уровне, обеспечивающем быстрое осаждение сульфидов под действием силы тяжести (формула Стокса).

Среднее содержание никеля, меди, кобальта и серы в породах рассматриваемых интрузивных комплексов (кларки интрузий) и коэффициенты концентраций этих элементов ( $K_k$  - отношение

Таблица 1

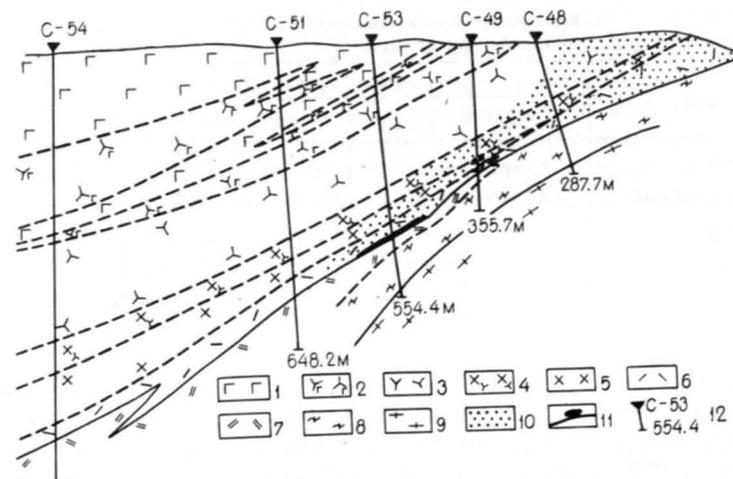
Содержание (в %) и коэффициенты концентраций ( $K_k$ ) рудогенных элементов и серы в расслоенных ультрамафит-мафитовых комплексах

Интрузивные комплексы и источники информации	Никель		Медь		Кобальт		Сера	
	%	$K_k$	%	$K_k$	%	$K_k$	%	$K_k$
Кларки основных пород (по А.П. Виноградову)	0,016	1,0	0,01	1,0	0,0045	1,0	0,03	1,0
Федоровотундровский массив (материалы авторов)	0,053	3,3	0,0518	5,2	0,0084	1,9	0,17	5,7
Мончетундровский массив (фонды Мурманской ГРЭ)	0,059	3,6	0,05	5,0	0,006	1,4	0,21	7,0
Массив Луостари [12]	0,077	4,8	0,044	4,4	0,006	1,4	не опред.	
Никеленосные габброиды ВКМ [10]	0,021	1,3	0,0124	1,2	0,0121	2,7	0,072	2,4
Неникеленосные габброиды ВКМ [10]	0,0015	0,9	0,0098	1,0	0,0024	0,5	0,076	2,5
Скергаардская интрузия [9]	0,0193	1,2	0,0126	1,3	0,0056	1,2	0,005	0,16

наблюденного содержания элемента к его кларку по А.П. Виноградову) приведены в табл. 1. Здесь же приведены данные по никеленосным и неникеленосным габброидам Воронежского кристаллического массива (ВКМ) и по Скергаардской интрузии.

Сопоставление табличных данных показывает, что интрузии Печенгско-Варзугской зоны характеризуются повышенными концентрациями рудогенных элементов и в отношении перспектив никеленосности выглядят предпочтительнее габброидов ВКМ. Согласно экспериментальным данным А.И. Альмухамедова и др. [1], установивших зависимость растворимости серы от коэффициента фракционирования расплава ( $K_f = \frac{FeO + Fe_2O_3}{MgO + FeO + Fe_2O_3}$ , мол. %), исходные магмы расслоенных комплексов Печенгско-Варзугской зоны были насыщены или даже несколько пересыщены этим элементом ( $K_f$  для их составов равен 30, растворимость серы при этом колеблется от 0,12 до 0,16%).

Однако высокие значения  $K_f$  рудогенных компонентов в исходном расплаве и насыщенность магматической системы серой еще не дают оснований утверждать, что этого потенциала достаточно для широкомасштабного образования сульфидов никеля и меди. До-



Геологический разрез участка М. Ихтегилахк.

1 - крупно- и гигантозернистые габбро, массивные; 2 - крупнозернистые габбро-нориты с подчиненным ортопироксеном, частично трахитоидные; 3 - среднезернистые габбро-нориты с равными количествами орто- и клинопироксенов, массивные; 4 - нориты и габбро-нориты с подчиненным клинопироксеном, массивные; 5 - нориты, меланократовые нориты, плагиопироксениты; 6 - мелко- и разнозернистые габбро-нориты, нориты, габбро, плагиоклазиты, диориты и др., массивные (такситовый горизонт); 7 - диоритизированные вмещающие породы (контактные роговики, пироксеновые диориты и др.); 8 - хлорит-альбитовые ортосланцы; 9 - гнейсы, амфиболиты, граниты, мигматиты; 10 - вкрапленное и вкрапленно-гнездовое сульфидное оруденение; 11 - шпирь и линзы густовкрапленных и сплошных руд; 12 - скважины, их номера и глубины.

полнительную ясность на этот счет вносит количественная оценка металлов в уже сформировавшихся сульфидах.

В краевых частях интрузивов, сложенных недифференцированными (такситовыми) габброидами, сульфиды как бы „законсервировались“ среди быстро закристаллизовавшихся силикатов в рассеянном состоянии. Но уже на некотором удалении от краевых фаций, на участках перехода к расслоенным сериям, они образуют донные залежи или „подвешенные“ горизонты вкрапленно-гнездового оруденения со шпирями и линзами густовкрапленных и сплошных руд.

Донные залежи вскрыты скважинами в северо-западной части массива Федоровой тундры (участок М. Ихтегилахк). „Подвешенные“ горизонты широко распространены вдоль лежащего бока Панско-Федоровотундровского массива [4] и в массиве Луостари [12]. Мощности минерализованных зон колеблются от 30-40 до 140 м, ширина меняется от десятков до сотен метров, длина достигает нескольких километров. Средневзвешенные содержания (в %) суль-

Таблица 2 Средневзвешенные погоризонтные концентрации никеля (в %) в разрезе через участок М. Ихтегилахк

Горизонт	Номер скважин				
	С-48	С-49	С-53	С-51	С-54
Габбровый	-	0.0208	0.009	0.013	0.006
Габбро-норитовый	0.1128	0.0761	0.01	0.0157	0.0123
Норитовый	-	-	0.045	0.0544	0.037
Такситовый	0.076	0.077	0.152	0.0364	0.021
Среднее	0.105	0.070	0.0268	0.0223	0.017

фидного никеля и меди по пересечениям близки к 0.1–0.2 (донная залежь участка М. Ихтегилахк: никель – 0.121, меди – 0.145 на мощность 43,65 м; „подвешенный” горизонт массива № 1: никель – 0.097, медь – 0.085 на мощность 140,7 м, в том числе никель – 0.19, медь – 0.12 на мощность 23,85 м). Простые расчеты показывают, что в донных залежах и „подвешенных” горизонтах в форме сульфидов связаны колоссальные количества никеля и меди. Концентрация их в более компактные рудные тела с кондиционными параметрами могла бы привести к образованию крупных месторождений.

Между тем в направлении к расслоенным сериям, в основании которых следовало бы ожидать сгущение разрозненной минерализации, сульфиды быстро исчезают. Ярким примером подобного факта служит разрез через участок М. Ихтегилахк (см. рисунок). В головных частях этого разреза среди недифференцированных такситовых габброидов сульфиды представлены мелкой неравномерной вкрапленностью. По падению пород массива, по мере все более отчетливого проявления в них признаков расслоенности сульфиды начинают тяготеть к нижней части разреза (скв. 48) и сегрегируются в гнезда и мелкие шпирь. Далее (скв. 49, 53) мощность минерализованной зоны постепенно уменьшается до 20–30 м, в ее пределах появляются крупные шпирь и линзы густовкрапленных и сплошных руд с содержанием никеля до 1% и более (скв. 49, интервал 250.80–250.98 м, никель – 0.830%, медь – 0.141%; скв. 53, интервал 418.6–419.0 м, никель – 1.31%, медь – 0.79%). В следующих скважинах разреза (№№ 51, 54) сульфиды отсутствуют.

Отмеченное явление предположительно либо связывалось с рассеиванием рудогенных элементов в ходе кристаллизационной дифференциации магматического расплава, либо объяснялось скатыванием сульфидной жидкости в пониженные участки интрузивной камеры под действием силы тяжести. С целью исследования поведения элементов-примесей в разрезе массива были проведены систематическое геохимическое опробование всех разновидностей пород и статистическая обработка результатов анализов. При этом установлена резкая изменчивость концентраций никеля, меди и кобальта в

различных дифференциатах, что является важным свидетельством возможной промышленной рудоносности интрузий [2].

В описанном выше разрезе через участок М. Ихтегилахк содержание никеля закономерно уменьшается в направлении падения пород массива как в отдельных дифференциатах, так и по пересечениям в целом (табл. 2). Этим самым снимается предположение о рассеивании никеля в ходе кристаллизационной дифференциации расплава и, наоборот, подтверждается факт его выноса к местам накопления.

Вынесенные концентрации никеля (разница между исходными – кларковыми – содержаниями и остаточными концентрациями по [2]) во вскрытой части массива достигают значительных величин – до 70%. В разрезе по скв. № 54 дефицит содержания никеля по отношению к кларку интрузии равен 0.036%, или в пересчете на вертикальную мощность массива в данном пересечении (1000 м) составляет 36 метропроцентов. Иными словами, из разреза указанной скважины вынесено рудное тело мощностью 36 м с содержанием никеля 1%.

Аналогичная картина отмечена на массиве Луостари. В северо-восточной, неотчетливо дифференцированной его части среднее содержание никеля в габброидах составляет 0.077% (табл. 1). Вблизи участка погружения массива под породы печенгской серии концентрации этого элемента снижаются, т.е. намечается вынос никеля из разреза или накопление его у основания интрузивного тела (эта область бурением не изучена).

Таким образом, в расслоенных ультрамафит-мафитовых комплексах Печенгско-Варзугской зоны существовали физико-химические условия, обеспечивающие широкомасштабное образование сульфидной медно-никелевой минерализации, обособление и перераспределение сульфидов. В этой обстановке на первый план выступает морфология интрузивной камеры – наличие в ее основании структурных ловушек, благоприятных для рудокализации. В пределах таких ловушек за счет частичной стерилизации от рудогенных элементов собственных разрезов и привноса дополнительных порций рудного вещества из соседних областей вполне могли сформироваться рудные залежи с промышленными параметрами.

Предложения по направлению поисковых работ на никель в рассматриваемых интрузивных комплексах неоднократно обсуждались. С позиций магматогенного генезиса медно-никелевых руд и особенностей локализации различных типов сульфидного оруденения все рекомендации обобщены и конкретизированы [8]. Они остаются в силе и с учетом изложенных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. А л ь м у х а м е д о в А.И., М е д в е д е в А.Я., П е р ф и л ь е в а Л.А., Т а р о е в В.К. Экспериментальное исследование растворимости серы в базальтовых расплавах // Эксперимент в минералогии и петрографии. М., 1975. С. 52–55.

2. К р и в ц о в А.И. Количественные аспекты проблемы источников вещества рудных месторождений // Геология рудных месторождений, 1981, Т. 23, № 5, С. 3-18.

3. О л ь ш а н с к и й Я.И. Растворимость FeS в железистых силикатных расплавах, содержащих добавки CaO, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> // Труды ИГН АН СССР. Вып. 137: Петрогр. сер. № 40. 1951. С. 33-50.

4. П р о с к у р я к о в В.В. Геологическое строение и особенности дифференциации основной интрузии Панских высот на Кольском полуострове // Основные и ультраосновные породы Кольского полуострова. Л., 1967. С. 40-54.

5. С м и р н о в В.И. Геология полезных ископаемых. М., 1982. 669 с.

6. С о б о л е в Р.Н., М е л а м е д В.Г. Об определении температур магматических расплавов при их внедрении // Геология рудных месторождений, 1981, № 5, С. 106-109.

7. С т а р и ц ы н а Г.Н. Массив основных и ультраосновных пород Федоровой тундры // Вопросы геологии и минералогии Кольского полуострова. Апатиты. Вып. 3. 1960. С. 50-91.

8. Т е л ь н о в В.А. Особенности локализации медно-никелевых руд в расслоенных базит-гипербазитовых интрузивах Печенгско-Варзугской зоны // Новые данные по месторождениям никеля Кольского полуострова. Апатиты, 1985. С. 64-72.

9. У э й д ж е р Л., Б р а у н Г. Расслоенные изверженные породы. М., 1970. 551 с.

10. Ч е р н ы ш о в Н.М., Б о ч а р о в В.Л. Петрохимические критерии никеленосности базит-гипербазитовых интрузий Воронежского кристаллического массива // Сов. геология, 1970. № 12. С. 55-58.

11. Ю д и н Б.А. Петрохимические и металлогенические особенности ультраосновных и основных интрузий района Главного хребта // Основной магматизм северо-восточной части Балтийского щита. Л., 1969. С. 64-89.

12. Я к о в л е в И.А. Новый тип медно-никелевого оруденения в основных породах массива Луостари // Разведка и охрана недр. 1971. № 11. С. 1-4.

С.И. Рыбаков, В.Н. Кожевников, А.И. Кайряк,  
В.Н. Фурман, А.В. Федюк, А.И. Светова,  
Л.В. Кулешевич, В.Я. Горьковец, М.Б. Раевская

#### МЕДНО-НИКЕЛЕВОЕ ОРУДЕНЕНИЕ В АРХЕЙСКИХ КОМАТИИТОВЫХ КОМПЛЕКСАХ КАРЕЛИИ

Открытие медно-никелевых месторождений в коматиитовых комплексах различных докембрийских регионов придало большой стимул их изучению. Детальные палеовулканологические и петрологические

© С.И. Рыбаков, В.Н. Кожевников, А.И. Кайряк, В.Н. Фурман,  
А.В. Федюк, А.И. Светова, Л.В. Кулешевич, В.Я. Горьковец,  
М.Б. Раевская, 1990

исследования в архейских зеленокаменных поясах Карелии в последние 10 лет привели к открытию коматиитов во многих локальных структурах: Хаутаваарской, Койкарской, Совдозерской, Палаламбинской, Остерской, Каменнозерской, Костомукшской, Тикшезерской. Установлена их приуроченность к осевым частям зеленокаменных поясов, заложение и развитие которых контролировалось зонами глубинных разломов [1].

Характерной чертой геологической позиции коматиитовых комплексов является тесная ассоциация с толеитовыми базальтами. Коматиитовый вулканизм характеризуется достаточно высокой степенью дифференциации как по разрезу, так и в объеме отдельных потоков. По составу выделяются перидотитовые (MgO > 24%), пироксенитовые (MgO = 14-24%) коматииты и коматиитовые базальты (MgO = 9-14%). В разрезе коматииты находятся на одном, а в некоторых структурах - на двух стратиграфических уровнях. Они образуют в пределах общих с базальтами полей локальные участки протяженностью до 4-5 км при мощности пачек коматиитов 400-600 м. Каждый из таких участков представляет собой, по-видимому, палеовулканическую постройку, однако эруптивные центры и магмоподводящие каналы устанавливаются чаще только предположительно. В целом для них характерны фациальное многообразие вулкаников, массивные (однородные и дифференцированные), подушечные вариолитовые лавы, лавобрекчии, подушечные брекчии в кровельной части потоков. Спинифекс-структуры встречаются в расслоенных потоках перидотитовых и пироксенитовых коматиитов, где они приурочены к центральной и верхней частям потоков. Мощность последних варьирует от 0,5-1,0 до 50-70 м. Нередко наблюдается их дифференцированное строение. Характерной чертой коматиитовых комплексов является большой объем пирокластике, достигающий в некоторых структурах 10-25%. Учитывая „сухость“ коматиитовой магмы, данное обстоятельство приводит к предположению, что во взрывных явлениях могли участвовать углеводороды. Это предположение находит определенное подтверждение фактом присутствия миндалевидных включений графита в перидотитовых коматиитах Типасъярви.

В Хаутаваарской структуре коматиитовая пачка подстилается вулканогенно-осадочными образованиями дацит-андезитовой формации. К северу коматииты фациально сменяются толеитовыми базальтами. Пачка коматиитов общей мощностью 450-500 м состоит из чередующихся потоков перидотитовых и пироксенитовых коматиитов и горизонтов туфов, алюмокремнистых пород и углеродсодержащих сланцев с сульфидами.

Перидотитовые коматииты, преобразованные в серпентиниты с характерной контракционной отдельностью, составляют около 40-50% объема коматиитового комплекса и представлены потоками лав мощностью 30-90 м. Чередующиеся с ними потоки пироксенитовых коматиитов, иногда со спинифекс-структурами, имеют мощность 20-40 м. Потоки лав разделены горизонтами тонких туфов коматиитового состава, преобразованными в слоистые актинолит-тремоли-

товые породы. В ассоциации с ними постоянно находятся афанитовые алюмокремнистые породы и углеродсодержащие сланцы. Реже встречаются прослой агломератовых туфов. Эти туфогенно-осадочные горизонты, мощность которых достигает 50-60 м, постоянно несут сульфидное оруденение. Отдельные слои коматиитовых туфов встречаются и среди толеитовых базальтов.

Коммагматами коматиитов, по-видимому, являются дайки и различного размера тела ультрабазитов, развитые западнее. Условия метаморфизма здесь отвечают эпидот-амфиболитовой фации низких давлений.

В Койкарской структуре коматиитовый комплекс ориентировочной мощностью 400-500 м занимает верхнюю часть разреза коматиит-базальтовой формации, которая перекрывается вулканитами кислого, среднего состава и осадками. Разрез представляет собой сложное переслаивание подушечных и массивных лав коматиитовых базальтов, пироксенитовых и перидотитовых коматиитов, агломератовых и более тонких туфов. Характерны вариолитовые лавы пироксенитовых коматиитов, расслоенные потоки пироксенитовых и перидотитовых ( $MgO = 24-29\%$ ) коматиитов со спинифекс-структурами. Агломератовые и более тонкие туфы составляют 20-25% объема комплекса.

Метаморфизм зеленосланцевой фации (хлоритовая субфация) преобразовал пироксенитовые коматииты в актинолит-тремолитовые сланцы с хлоритом, карбонатом, магнетитом.

В Паласельгинской структуре коматиитовый комплекс мощностью 450-500 м находится в нижней половине коматиит-базальтового разреза. Эта пачка подстилается толеитовыми базальтами мощностью до 600-700 м с отдельными потоками коматиитов и перекрывается также толеитовыми базальтами с отдельными потоками пироксенитовых коматиитов общей мощностью до 1200 м. Коматиитовый комплекс представлен преимущественно чередующимися потоками подушечных и массивных лав пироксенитовых с единичными потоками перидотитовых коматиитов и горизонтов пепловых и реже бомбовых туфов. Объем последних не превышает 10%. Осадки в этом разрезе отсутствуют. Условия метаморфизма соответствуют эпидот-амфиболитовой фации.

Для коматиитового комплекса Каменноозерской структуры (Золотопорожский и Лещевский участки) характерен большой объем тонких туфов коматиитового состава, интенсивно карбонатизированных, лиственитизированных и превращенных в карбонат-хлорит-актинолитовые, тальк-карбонат-тремолитовые сланцы при зеленосланцевом метаморфизме. В ассоциации с ними находятся афанитовые алюмокремнистые породы, кварц-серицитовые сланцы (алевролиты), углеродсодержащие сланцы, серноколчеданные руды. Мощность этих туфогенно-осадочных горизонтов варьирует от первых десятков до сотен метров. Чередующиеся с ними пачки перидотитовых и пироксенитовых коматиитов имеют мощность от 10-20 до 70-80 м и вытягиваются до 3-5 км по простиранию. Они чередуются с более мощными (от 100 до 300 м) пачками толеитов. Все породы интенсивно

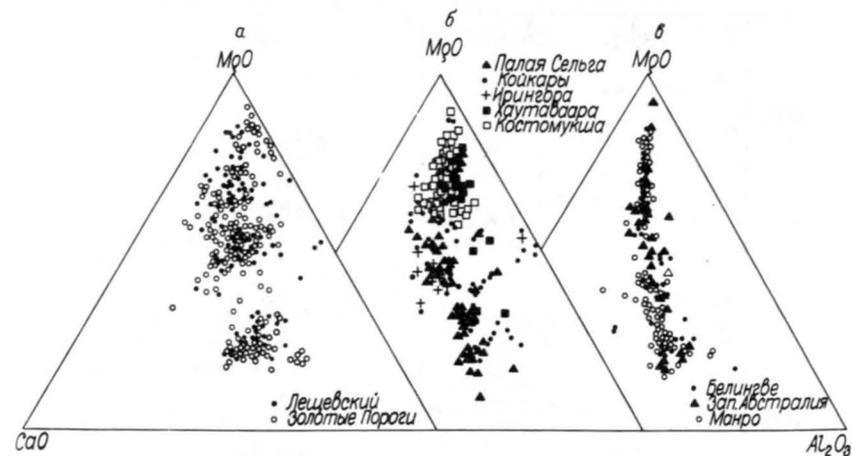


Рис. 1. Диаграммы  $CaO - MgO - Al_2O_3$  для коматиитов.

а, б - Карелия; в - Белингве (Южная Африка), Западная Австралия, Манро (Канада) [5-7].

карбонатизированы, нередко преобразованы в листвениты. Сложность тектонической структуры Золотопорожского участка затрудняет правильную оценку мощностей и палеовулканические реконструкции. По наличию мощных горизонтов туфогенно-осадочных пород со стратиформным серноколчеданным оруденением Каменноозерская структура по палеофациальным признакам сходна с Хаутаваарской. В обоих случаях накопление вулканитов и осадков происходило, по-видимому, в пределах палеовулканических депрессий с восстановительными условиями морских вод, благоприятных для стратиформного вулканогенно-осадочного рудообразования.

В Костомукшской структуре пачки коматиитов мощностью до 700-800 м находятся на двух стратиграфических уровнях. Здесь преобладают массивные и подушечные лавы перидотитовых и пироксенитовых коматиитов со спинифекс-структурами, установлены эксплозивные брекчи прижерловой зоны. Условия метаморфизма отвечают амфиболитовой фации. Коматииты превращены в тальк-карбонатные, антофиллит-карбонатные породы.

В Тикшезерской структуре (участок Ирингоры) пачка пироксенитовых, меньше перидотитовых, коматиитов мощностью более 150 м залегает выше вулканитов среднего-кислого состава и связанных с ними вулканогенно-осадочных пород. Складчатость и метаморфизм амфиболитовой фации, сопровождающиеся метасоматическими процессами, привели к преобразованию коматиитов в куммингтонит-антофиллитовые и актинолит-тремолитовые сланцы, интенсивно карбонатизированные с зонами мономинерального карбоната и кварца.

Для петро- и геохимической характеристики основных-ультраосновных вулканических серий в архейских поясах Карелии использо-

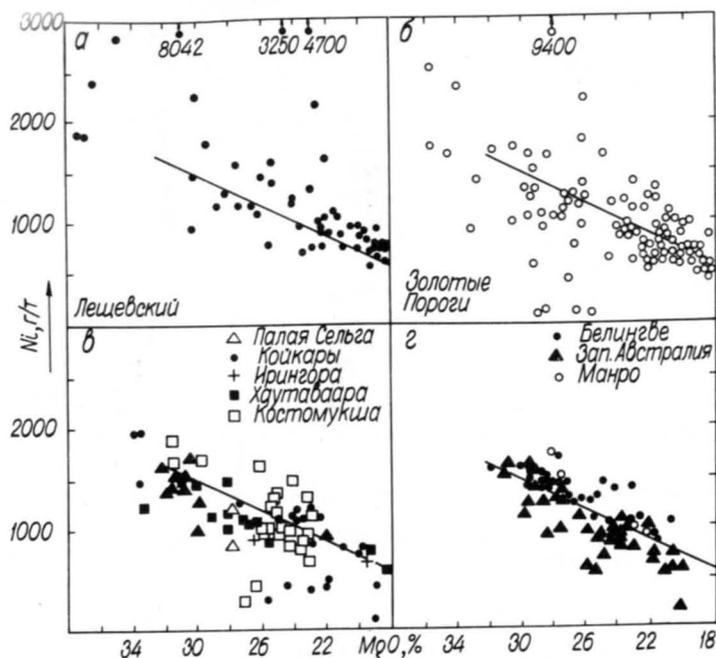


Рис. 2. Диаграммы Ni - MgO для коматиитов: а-в - Карелии, г - Белингве, Западной Австралии и Манро [3] с использованием данных из [5-7]. Линия разграничивает никеленосные и неникеленосные коматииты [5].

ваны стандартные тройные и бинарные диаграммы  $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ , Ni - MgO и Cr - Ni. Выбор диаграмм определился необходимостью оценить сериальную принадлежность архейских вулканитов лопийских структур, провести сравнение с хорошо изученными зарубежными, в том числе рудоносными эквивалентами и проследить некоторые тенденции, связанные с метасоматической их переработкой.

Диаграмма  $\text{CaO}-\text{MgO}-\text{Al}_2\text{O}_3$  (рис. 1) позволяет отнести изученные вулканиты Карелии к коматиитовой серии. Для них в отличие от аналогичных пород Западной Австралии, Белингве (Южная Африка) и Манро (Канада) характерны, во-первых, разрыв между пироксенитовыми и базальтовыми коматиитами и, во-вторых, широкая дисперсия значений  $\text{CaO} / \text{Al}_2\text{O}_3$  в отличие от названных районов, где это отношение близко к единице.

Диаграммы в координатах Ni - MgO (рис. 2), на которых, согласно К.М. Лешеру и Д.И. Грозсу [3], устанавливается четкое различие никеленосных (Западная Австралия) и безникелевых (Южная Африка) коматиитов, иллюстрируют заметную обедненность никелем коматиитов Палой Сельги, Хаутаваары и Ирингоры. В Кой-

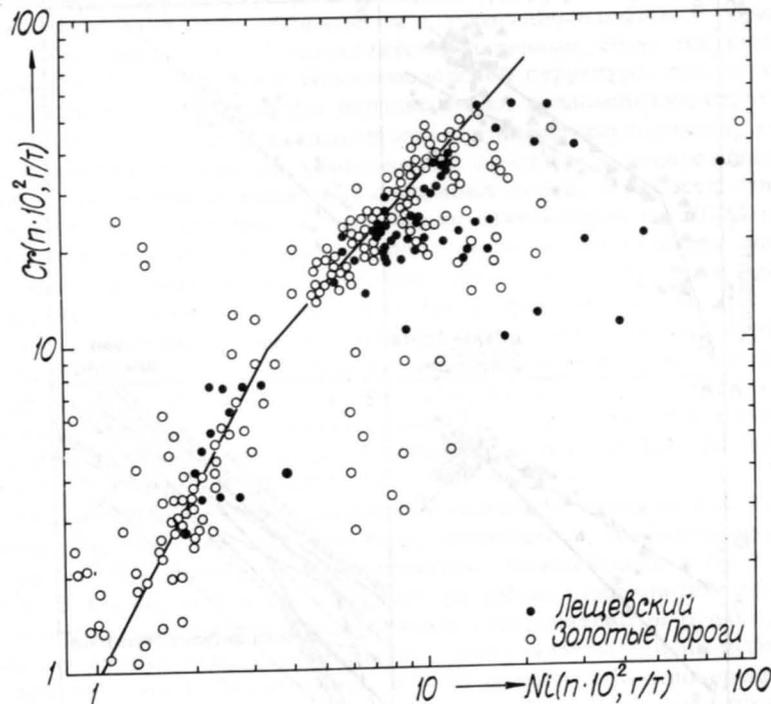


Рис. 3. Диаграмма Ni - Cr для коматиитов Кумбуксинской структуры (Восточная Карелия).

карах и Кумбуксинской структуре четкого разделения по этому параметру нет. Аномально низкие содержания Ni в коматиитах Кумбуксинской структуры обусловлены его выносом при метаморфизме. В том случае, когда поблизости имеется источник серы - сульфидные осадки, Ni фиксируется и возникают аномальные (до 1% Ni) концентрации метаморфогенной руды. Таким образом, тотального обеднения никелем коматиитов Кумбуксинской структуры, характерного для рудного района Камбалда, не наблюдается. Подобное обеднение носит локальный характер и имеет явно вторичную природу.

Этот вывод подтверждается и диаграммами в координатах Ni - Cr (рис. 3, 4). Наиболее измененные породы характеризуются резким понижением отношения Cr / Ni, что явно отражает локальный привнос Ni при инертном поведении Cr. По-видимому, низкая подвижность Ni при метаморфизме пренит-пумпеллитовой фации, описанной в районе Камбалды, сохраняется до условий верхов зеленосланцевой-низов эпидот-амфиболитовой фаций. Последние условия (Кумбукса) благоприятны для миграции никеля, а в условиях амфиболитовой фации (Манро, Ирингора) отношение Cr / Ni приобретает фиксированное значение.

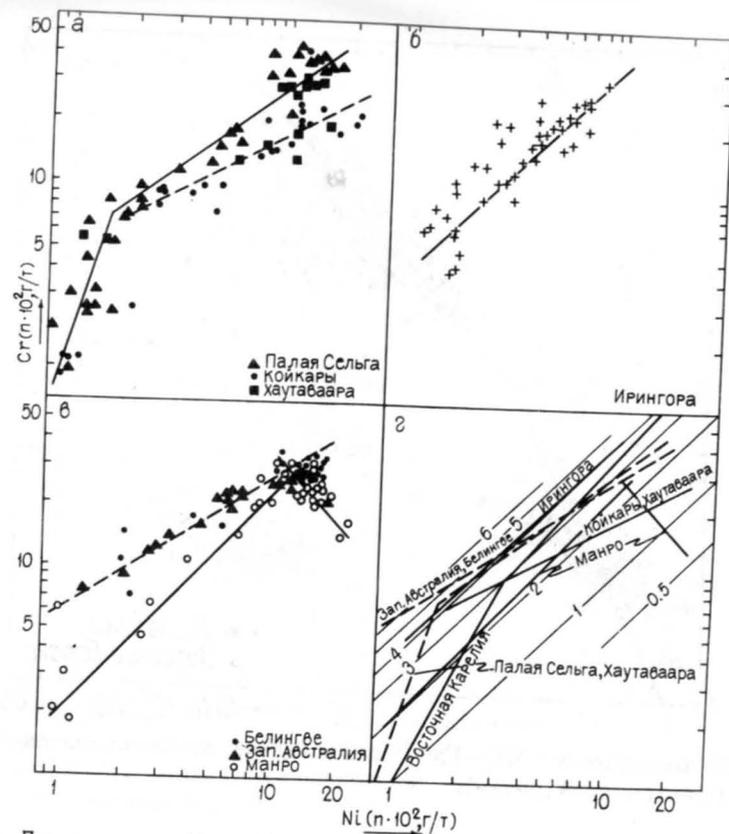


Рис. 4. Диаграммы Ni - Cr для коматиитов.  
 а, б - Карелия, в - Белингве, Западная Австралия и Манро [5-7],  
 г - обобщенные тренды и изолинии отношений Cr/Ni.

Анализ разрезов скважин показывает, что метасоматические преобразования пород, связанные с миграцией  $SiO_2$ ,  $CaO$ ,  $Ni$ ,  $CO_2$ ,  $S$ ,  $K_2O$  и др., в районе Кумбуксы носят локальный характер и перенос осуществляется на первые метры. Это, по-видимому, связано со слабой энергетической обеспеченностью процесса, отраженной в развитии низкотемпературных (хлорит, карбонат) ассоциаций. Поэтому метаморфогенно-метасоматические руды можно ожидать лишь вблизи крупных интрузий преимущественно кислого состава или в узких жилевидных зеленокаменных структурах, в которых метаморфизм может повышаться до условий амфиболитовой фации.

С коматиитовым вулканизмом в Карелии связано сульфидное оруденение трех генетических типов: стратиформное вулканогенно-осадочное, магматогенное и метаморфогенно-гидротермальное.

Стратиформное вулканогенно-осадочное оруденение представлено слоями пиритовых руд, находящихся в туфогенно-осадочных горизонтах, переслаивающихся с коматиитовыми лавами. Этот тип наиболее широко представлен в Каменноозерской структуре, где слои тонкозернистых пиритовых руд нередко имеют коллоидную структуру. Эти руды находятся в парагенезисе с алюмокремнистыми, карбонато-алюмокремнистыми хемогенными породами и углеродсодержащими сланцами среди туфогенно-осадочных пород. Мощности сульфидных слоев колеблются от нескольких сантиметров до 20-25 м. Крупнейшим месторождением серноколчеданных руд является Золотопорожское. К данному типу относятся небольшое Койкарское рудопроявление. В Хаутаваарской структуре в туфогенно-осадочных горизонтах, переслаивающихся с коматиитами, также присутствует вкрапленное сульфидное оруденение, представленное преимущественно пирротином, меньше - халькопиритом, сфалеритом, пентландитом. Содержание сульфидов достигает 10-30%. В рудах устанавливаются повышенные содержания меди (до 0.8%), цинка (до 1.1%), свинца (до 0.1%), никеля (до 0.1-0.2%).

Магматический тип оруденения установлен в интрузивных ультрабазитах Каменноозерской структуры, являющихся, по-видимому, коматами коматиитов. В серпентинитах Вожминского и Кумбуксинского массивов и в прорывающих их дайках сингенетическое оруденение представлено вкрапленными сидеронитовыми рудами, сложенными пирротином, халькопиритом, пентландитом с невысоким содержанием никеля. Аналогичный тип установлен в Светлозерском массиве и в ряде других мест, более подробная характеристика которых дана в публикациях [2].

На Лещевском участке выявленное геолого-разведочными работами 1986 г. вкрапленное пентландит-пирротинное оруденение приурочено к двум потокам перидотитовых коматиитов мощностью 7-8 м, находящимся в туфогенно-осадочной пачке с маломощными слоями пирротин-пиритовых руд. Коматииты преобразованы в талькхлорит-карбонат-серпентин-актинолитовые сланцы ( $MgO$  до 28%) с многочисленными карбонатными жилками. Вкрапленная халькопирит-пентландит-пирротинная минерализация приурочена к подошвенной части потоков. Мощность рудных зон составляет 1-2.4 м.

Метаморфогенно-гидротермальное медно-никелевое оруденение в коматиитах и интрузивных ультрабазитах представлено тремя минеральными типами: хизлевудитовым, магнетит-пирит-милперитовым и пентландит-пирротинным [2].

Хизлевудитовый тип оруденения связан с лизардит-хризотиповой стадией серпентинизации. В данном процессе первично магматическая вкрапленность сульфидов была преобразована с выносом серы и формированием хизлевудитовой вкрапленности в оливинитах вокруг первичных руд [4]. Данный тип оруденения установлен в Вожминском, Кумбуксинском, Восточно-Светлозерском массивах, превращенных в асбестизированные серпентиниты. Выделяются прожилково-вкрапленная хизлевудитовая минерализация в хризотил-асбестовых жилах и тонкая вкрапленность ее вместе с пентландитом

в серпентинитах. Мощность оруденелых зон достигает 300 м.

Миллерит-пиритовый (или магнетит-миллерит-пиритовый) тип оруденения известен на участке „Золотые Пороги“, где он обнаруживается в разнообразных породах: интрузивных ультрабазитах, лавах и туфах коматиитов в пределах рудной зоны стратиформного серноколчеданного месторождения. Это чаще жильобразные зоны тальк-карбонат-хлоритовых пород (лиственитов) мощностью до 1,5 м, содержащие до 30–35% пирита, миллерита, магнетита с незначительной долей халькопирита, полидимита, пентландита, пирротина.

Пентландит-пиротиновый тип установлен в зонах колчеданных месторождений ряда структур: Рыбозерской, Каменноозерской, Волошовской, Хаутаваарской и др. В Каменноозерской структуре, где термодинамические условия отвечали зеленосланцевой фации, прожилково-вкрапленное оруденение приурочено к интенсивно преобразованным (оталькованным, карбонатизированным, хлоритизированным) интрузивным ультрабазитам и коматиитам. В Восточно-Вожминском, Лебяжинском, Светлоозерском месторождениях рудные зоны имеют протяженность до 7 км при мощности от 10 до 100 м и представлены серией линзовидных залежей прожилково-вкрапленных халькопирит-пентландит-пиротиновых руд.

Метаморфогенно-гидротермальное медно-никелевое оруденение, возникшее в условиях эпидот-амфиболитовой фации, имеет место в Хаутаваарской структуре. В зоне колчеданного месторождения в теле серпентинитов была сформирована рудная зона мощностью около 18 м с халькопирит-пентландит-пиротиновым оруденением. Оруденение сопровождается хлоритизацией, тремолитизацией, эпидотизацией и окварцеванием ультрабазитов. В туфогенно-осадочных горизонтах коматиитового комплекса изначально стратиформное пиритовое оруденение было преобразовано в пиротиновую вкрапленность с небольшим содержанием халькопирита и пентландита.

В генетическом плане различные минеральные типы метаморфогенно-гидротермального оруденения можно объяснить эволюцией термодинамического режима метаморфизма. Миллерит-пиритовое и хизлевудитовое оруденение характерно только для зеленосланцевой фации, температура которой не превышала 550° (температура устойчивости миллерита равна 379°, хизлевудита – 556°) при повышенном потенциале кислорода. Пентландит-пиротиновое оруденение образуется в широком диапазоне РТ-условий, где главную роль играет температура. Характерна пространственная и генетическая ассоциация метаморфогенных медно-никелевых руд со стратиформными серно-колчеданными рудами, которые являлись источником серы, высвобождавшейся в процессе пирротинизации.

В заключение краткого анализа можно сказать, что факт широкого развития коматиитовых комплексов в разрезах архейских зеленокаменных поясов Карелии, разнообразие палеофациальных обстановок их формирования, петро- и геохимические особенности коматиитов в различных структурах, прямые признаки связи с ними медно-никелевых руд различных генетических типов позволяют положительно оценить перспективы их на медно-никелевые руды. Характерной

чертой геологического положения рудоносных базит-ультрабазитовых комплексов (интрузивных и эффузивных) является их связь с сульфидоносными туфогенно-осадочными отложениями. Последние могли являться источниками серы и летучих при формировании медно-никелевых руд различных генетических типов. Такие обстановки создавались в палеовулканических депрессиях с интенсивно развитым вулканогенно-осадочным седиментогенезом. Это обстоятельство создает хорошие предпосылки использования методов палеофациальных реконструкций в поисковой практике.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вулканизм архейских зеленокаменных поясов Карелии / Ред. В.А. Соколов. Л., 1981. 152 с.
2. Земная кора и металлогения юго-восточной части Балтийского щита. Л., 1983. 303 с.
3. Лешер К.М., Гровс Д.И. Геохимические и минералогические критерии рудоносности коматиитов в австралийских зеленокаменных поясах архейского возраста // 27-й МКГ. Доклады. Т. 9. М., 1984. С. 131–141.
4. Попов М.Г., Малышева С.Н., Морозов С.А. О хизлевудите Вожминского массива // Минералогия и геохимия докембрия Карелии. Петрозаводск, 1979. С. 104–111.
5. Arndt N.T., Naldrett A.J., Pucke D.R. Komatiitic and ironrich tholeiitic lavas of Munro Township, Northeast Ontario // J. Petrol. 1977. Vol. 18, N 2. P. 319–369.
6. Halberg J.A., Curter D.N., West K.N. Archaean volcanism and sedimentation near Meekatharra, Western Australia // Precamb. Res. 1976. Vol. 3, N 6. P. 577–595.
7. Nisbet E.G., Bickle M.J., Martin A. The mafic and ultramafic lavas of the Beilingswe greenstone belt, Rhodesia // J. Petrol. 1977. Vol. 18, N 4. P. 521–566.

М.М. Лавров, Н.Н. Трофимов,  
В.А. Ганин, В.В. Морозов

## РУДОНОСНОСТЬ БУРАКОВСКОЙ РАССЛОЕННОЙ ИНТРУЗИИ

Расслоенные ультрамафит-мафитовые интрузии справедливо относят к уникальным природным объектам. От многих других магматитов их отличает широкий спектр слагающих петрографических типов пород-дифференциатов, магматическая расслоенность (стратиформная макро- и микрослоистость, ритмичная и скрытая слоистость); с ними связаны в различных районах земного шара классические

© М.М. Лавров, Н.Н. Трофимов, В.А. Ганин,  
В.В. Морозов, 1990

собственно магматические месторождения Ni, Cu, Cr, V, Fe, Pt, Au.

Бураковский массив, расположенный в Юго-Восточной Карелии между Онежским озером и оз. Водлозером, является типичным представителем формации расслоенных интрузий консолидированных областей [1, 2, 3]. Время внедрения интрузии геологическими методами точно не фиксируется. Она залегает в мигматитах и гранитоидах верхнего архея и прорывается дайками ятулийских долеритов и жилами субшелочных гранитов и пегматитов. Для массива характерна сохранность первичных минералов и структур, свидетельствующая о неучастии его в интенсивных региональных складчатых и метаморфических процессах. Тем не менее массив испытал тектоническую блокировку и незначительные локальные вторичные метаморфические преобразования — амфиболитизацию, хлоритизацию, биотитизацию. Наиболее активно осуществлялись процессы серпентинизации, начело переработавшие перидотит-дунитовую часть разреза Аганозерского блока. Неизмененные дуниты вскрываются с глубины 920 м в срединной части блока. Становление интрузии, по нашему мнению, связано с активизацией в раннем протерозое (сумии) кратонизированной архейской континентальной области и соответствует заложению и начальному этапу развития карельской рифтогенной системы. Подтверждают это представление U-Pb датировки финляндских расслоенных интрузий (2440 млн. лет; [4]), рассматриваемых нами в единой формации с интрузиями Карелии. В определенной степени согласуются с этим K-Ar датировки габбро-норитов Бураковского дайкового комплекса (по плагиоклазам):  $2360 \pm 60$  и  $2380 \pm 65$  млн. лет (ИМГРЭ, материалы Р.А. Хазова).

Бураковский массив представляет собой лополит с чашеобразной в поперечном сечении внутренней структурой. Она удовлетворительно реконструируется по наблюдениям приконтактных частей в Бураковском и Шалозерском блоке и более сложно в Аганозерском. Формирование массива осуществлялось путем одноактного внедрения расплава и последующей дифференциации в камере интрузии. В результате фракционной кристаллизации и гравитационного осаждения фаз в условиях конвективных движений (о чем свидетельствуют линейные трахитоидные текстуры) сформированы ультраосновная, переходная, габбро-норитовая и габбро-диоритовая зоны. По периферии массива выделяется так называемая краевая зона, на образование которой большое влияние оказали вмещающие породы. Во многих местах на границе с породами рамы присутствуют закалочные мелкозернистые габбро-нориты.

Тектоническими нарушениями массив разбит на три блока. Из них восточный, Аганозерский, поднят. На преобладающей его площади развиты аподунитовые и апоперидотитовые серпентиниты и только в ограниченной западной части — пестрый комплекс пород переходной зоны. Центральный Шалозерский и юго-западный Бураковский блоки представлены на уровне эрозионной поверхности габбро-норитами и габбро-диоритами. В юго-восточном борту Шалозерского блока скважиной вскрыта часть ультраосновной зоны и подсти-

лающий ее базальный пироксенит-габбро-норитовый горизонт. Можно допустить, что выход базального горизонта имеет место и по юго-восточному борту Бураковского блока. Ультраосновная и габброидные зоны сравнительно однородны по строению и составу. Переходная зона отличается резко выраженным слоистым и ритмичнослоистым строением. В ее разрезе чередуются слои верлитов, вебстеритов, клинопироксенитов, габбро-норитов, анортозитов. В целом за кажущимся многообразием пород стоит ведущий четырехкомпонентный минеральный состав: оливин-ортопироксен-клинопироксен-плагиоклаз. Кроме них присутствуют кварц и рудные: хромит, сульфиды, магнетит. Хромиты ассоциируют с ультраосновной зоной, магнетиты — с габбро-норитовой и габбро-диоритовой. Медно-никелевые сульфиды в небольших количествах присутствуют во всех выделенных зонах, кроме ультраосновной.

Общее содержание Ni в массиве выше кларкового. В процессе дифференциации в последующих продуктах содержание никеля снижается. Это относится в основном к силикатному никелю. Вкрапленность сульфидов встречается во всех дифференциатах, но в небольших количествах. Наибольшие концентрации характерны для пород краевой группы, переходной зоны и базального горизонта. В краевых габбро-норитах, а также в титаномagnetитовом габбро-диорите верхней зоны сульфиды присутствуют в незначительном количестве. Существенно преобладают в них пирротин-халькопиритовая ассоциация.

В переходной зоне выявлены два типа раннемагматической интерстиционной пентландитсодержащей сульфидной минерализации-пентландит-пирротин-халькопиритовая с сопутствующими кубанитом и талнахитом, и борнит-халькопирит-пентландит-талнахитовая. В первой ассоциации на долю пентландита приходится 20–30%, он является наиболее ранним минералом и образует агрегаты полигональных зерен гипидиоморфнозернистой структуры. Халькопирит гипидиоморфный, представлен двумя разновидностями с пластинами распада твердого раствора кубанита или талнахита. Пирротин преобладает и содержит редкие субмикроскопические сноповидные выделения пентландита-2. Отличительной особенностью данной ассоциации является наличие в пентландите, вследствие распада или кристаллизации остаточной жидкой фазы, петьчатоподобной структуры, образованной тонкозернистым агрегатом ксеноморфного пирротина (80–95%), пентландита (5–20%) и иногда халькопирита-2. Борнит-халькопирит-пентландит-талнахитовая ассоциация характеризуется полным отсутствием пирротина. Пентландит здесь находится в более низких концентрациях — 5–10% от суммы сингенетических сульфидов, содержит сетчатую структуру распада твердого раствора халькопирита (и талнахита) с плотностью до 1:10–1:25. Преобладает в ассоциации (~60%) талнахит.

Базальный горизонт, подстилающий ультраосновную зону, вскрыт скважиной в восточной части Шалозерского блока. В 8–10 м разрезе придонных габбро-норитов и пироксенитов рудные минералы представлены сульфидами и окислами. Сульфиды образуют мелкую

вкрапленность, скопления овальной, полосовидной и жилкоподобной форм и гнезда (до 1,5–2 см). Сингенетичная интерстиционная и каплевидная вкрапленность в отдельных интервалах совмещена с эпигенетической халькопиритовой минерализацией.

Раннемагматическая вкрапленность сульфидов подобна описанной выше в переходной зоне пентландит–пирротин–халькопиритовой ассоциации. Вкрапленники имеют состав пентландит–пирротин–халькопиритовый и халькопирит–пирротинный, размер их колеблется от 0,1 до 0,6 мм. Характерна виоларитизация пентландита с образованием сетчатой структуры плотностью 1:10–20. Доля пентландита составляет 10–30% объема сульфидов, а в кашах – до 50–60%. Халькопирит гипидиоморфный и часто более ранний, чем пирротин. Представлен также двумя разновидностями, содержащими пластины кубанита и талнахита. Доля талнахита в структурах распада 1:1 и более. Преобладающим минералом является пирротин.

Окисная минерализация представлена вкрапленностью титаномагнетита, ильменита и вторичного магнетита (до 1%). Кристаллы титаномагнетита подверглись избирательному замещению силикатом с образованием реликтовой, скелетной и футлярообразной микротектур. В дальнейшем по вновь образованному силикату развивался эпигенетический халькопирит–З, максимальные концентрации которого вблизи контакта с вмещающими достигают 1%.

Обнаружение повышенных количеств сульфидов в базальном горизонте имеет принципиальное значение для прогнозной оценки никеленосности интрузии и определения направлений дальнейших исследований. Несомненно первоочередной задачей является вскрытие придонных частей интрузии и изучение базального горизонта.

В Бураковском массиве по всему разрезу ультраосновной зоны присутствуют хромиты в виде рассеянной, в целом убогой, но равномерно распределенной вкрапленности [2]. Слои с высокой концентрацией обнаружены на границе ультраосновной и переходной зон (Главный хромитовый горизонт). Истинная мощность горизонта 3,5 м. Хромитовые руды по качеству относятся к среднежелезистым и могут представлять интерес для химической и огнеупорной промышленности и в производстве феррохрома.

Бураковский массив как петрологический аналог Бушвельдского, Стиллуотерского, Маскок, Великой Дайки, Койлисмаа и других расслоенных плутонов может рассматриваться потенциально перспективным на платиноиды. Их фоновое содержание в массиве в целом сопоставимо с фоновым содержанием в расслоенных интрузиях. Соотношение платиновых металлов в Главном хромитовом горизонте характеризуется преобладанием тугоплавких элементов (в %): рутений – 44,9, иридий – 17,4, платина – 21,5, палладий – 14,7, родий – 1,5. В переходной зоне на участке, обогащенном сульфидами, резко преобладает палладий ( $Pt : Pd = 1 : 4,7$ ).

Магнетит, содержащий титан ( $4,5–5,5\% TiO_2$ ) и ванадий ( $1,1–1,6\% V_2O_5$ ), присутствует в габбро–норитах и габбро–диоритах верхней части разреза интрузии.

Дальнейшие перспективы массива связываются с изучением краевых и базальной зон на медно–никелевое оруденение, поисками

жил сульфидов мончегорского типа, проверкой проводящих горизонтов, разделяющих ультраосновную и переходную зоны в Шалозерском блоке, и глубоких горизонтов с высокой скоростью упругих волн в Аганозерском блоке. Потенциально перспективным массивом остается на ЭПГ с учетом хромитовых горизонтов и вскрытых на Шалозерском блоке магнетитсодержащих габбро–норитов.

## ЛИТЕРАТУРА

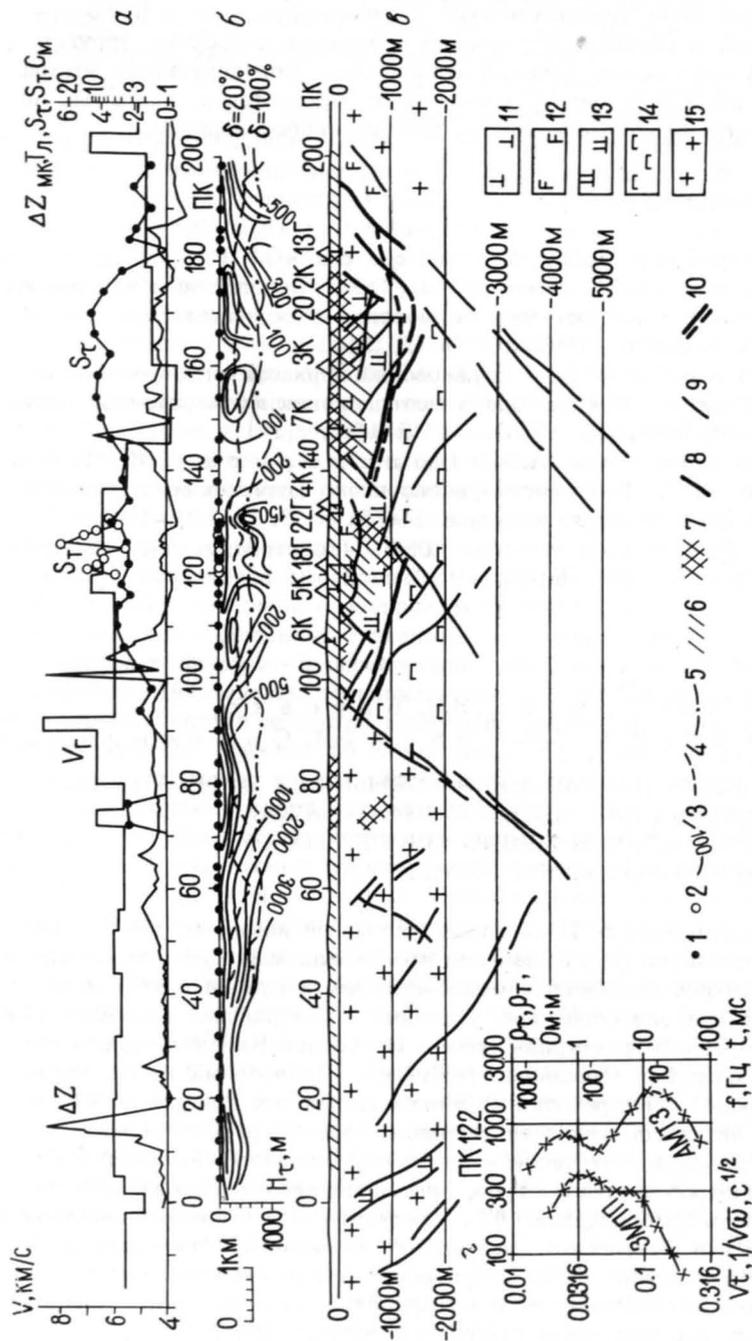
1. Гарбар Д.И., Сахновская Т.П., Сахновский М.Л., Чечель Э.К. Перспективы никеленосности Бураковско–Аганозерского массива (Восточная Карелия) // Советская геология. 1980. № 9. С. 53–58.
2. Лавров М.М. Бураковский перидотит–габбро–норитовый комплекс // Земная кора и металлогения юго–восточной части Балтийского шита. Л., 1983. С. 98–107.
3. Лобанова А.Б., Поликарпов В.К., Шинкарев Н.Ф. Петрология расслоенного Бураковского массива Заонежья // Советская геология. 1975. № 9. С. 132–137.
4. Simonen A. The Precambrian in Finland // Geol. Surv. Finl. Bull. 1980. Vol. 304. 58 p.

Н.Н. Болгурцев, Н.Н. Боровко,  
Г.П. Варгин, А.П. Савин, Ф.И. Свияженинов

## ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРИ ПОИСКАХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ МЕДНО–НИКЕЛЕВЫХ РУД В КАРЕЛО–КОЛЬСКОМ РЕГИОНЕ

Применявшийся в 70–х годах поисковый комплекс (МПП, ДИП, ВП) обеспечивал [1] выявление представляющих промышленный интерес залежей сульфидных медно–никелевых руд на глубинах до 200 м и при благоприятных условиях – разбраковку аномалий (Каменноозерская структурная зона в Восточной Карелии, рудопроявления Карикъявр, Руннийоки, Ластъявр, Приозерный на Кольском полуострове). Разработка методики глубинных поисков в XI пятилетке включала совершенствование моделей рудных районов и рудных полей, в том числе – на основе внедрения высокоточных магнитометров и гравиметров, прогрессивной высокоинформативной методики сейсморазведки ОГТ. Результаты применения сейсморазведки ОГТ в Печенгском районе, на Бураковско–Аганозерском массиве и в районе Панско–Федоровых тундр свидетельствуют, что разрешающая возможность и надежность выделения этим методом глубинных геологических границ повысились (рис. 1).

© Н.Н. Болгурцев, Н.Н. Боровко, Г.П. Варгин, А.П. Савин,  
Ф.И. Свияженинов, 1990



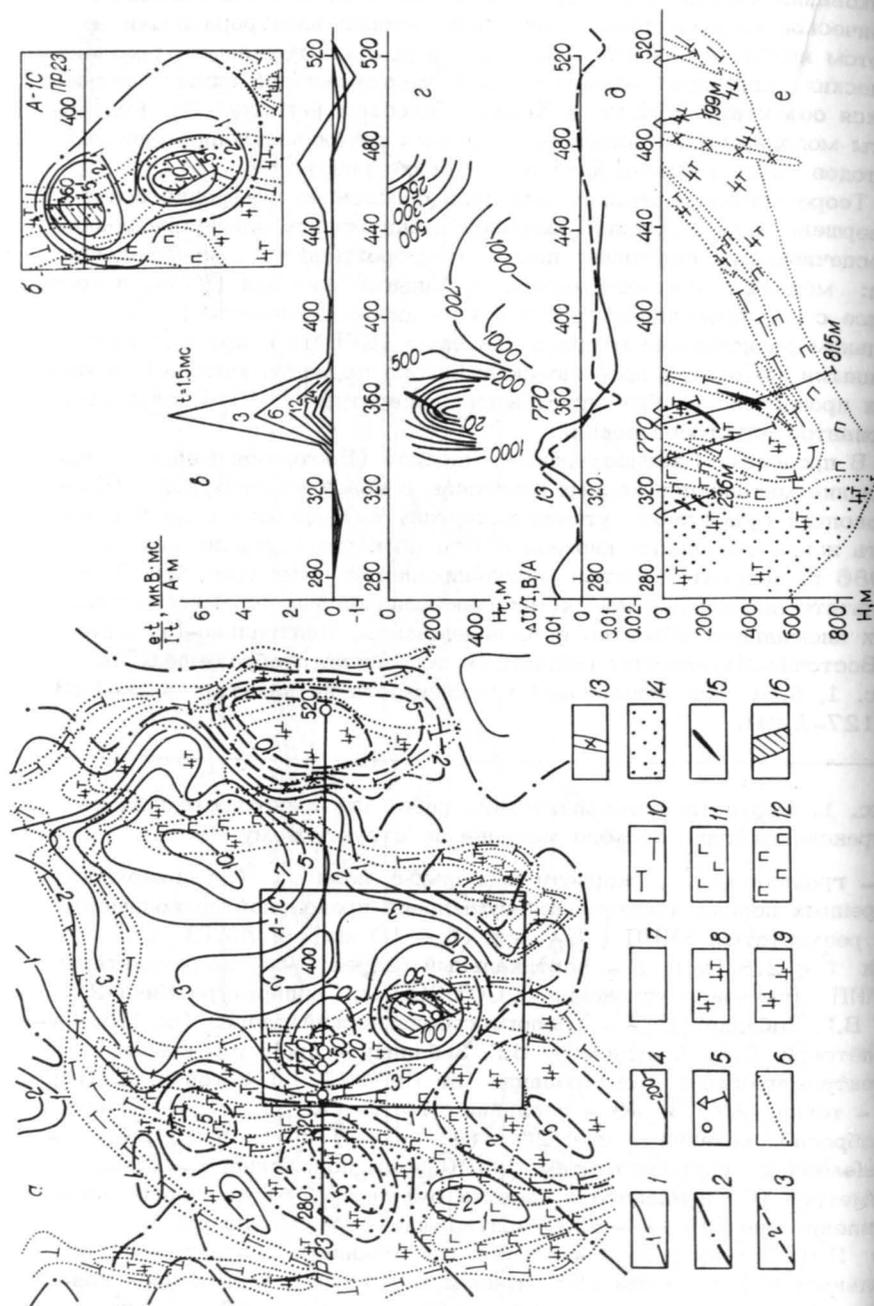
Для обоснования комплекса, оптимизации методики работ и истолкования получаемых результатов проведено математическое и физическое моделирование основных методов электроразведки с учетом наиболее важных особенностей реально изучаемых геоэлектрических разрезов основных типов месторождений никеля, являющихся объектами поисков в Карело-Кольском регионе [3]. Результаты моделирования доведены до оценок глубинности применяемых методов и до рекомендаций по методике работ.

Теоретически и экспериментально обосновано внедрение более совершенных модификаций наземной и скважинной электроразведки, обеспечивающих глубинные поиски месторождений медно-никелевых руд: метода глубинного заряда на большой площади (ММЗ) в комплексе с зондированиями методом переходных процессов (ЗМПЛ), дальним радиоволновым просвечиванием (ДРВМ) и другими скважинными методами, наземно-скважинного варианта метода переходных процессов на базе применения аппаратуры МПП-4, зарядных вариантов электроразведки.

В пределах Светлоозерского массива (Восточная Карелия) применение метода переходных процессов с новой аппаратурой МПП-4 позволило существенно уточнить картину аномального поля и выявить новые локальные аномалии. При проверке одной из них в 1986 г. вскрыты богатые медно-никелевые руды (рис. 2). В результате применения новых методик выявлен ряд глубоко залегающих аномальных объектов в Аллареченском, Центрально-Кольском и Восточно-Карельском районах (в том числе отображенных на рис. 1, б, в зон повышенной проводимости на пикетах 122-123 и 127-129).

Рис. 1. Результаты геофизических работ на Аганозерском блоке Бураковско-Аганозерского массива по структурному ПР II.

а - графики  $\Delta Z$ , скорости продольных волн  $V_r$  (по поверхности коренных пород) и кажущейся суммарной продольной проводимости по результатам ЗМПП ( $S_\tau$  при  $t = 10$  мс) и АМТЗ ( $S_T$  при  $f = 2.8$  Гц); б - вертикальный разрез  $\rho_\tau$  по результатам ЗМПП (петлевая установка 200x200 м, аппаратура Цикл-2, по В.Г. Забелину); в - геолого-геофизический разрез (по Г.Н. Сухолютовой, С.А. Анкудинову, В.Г. Забелину и др.); г - кривые электромагнитных зондирований на ПК 122. 1 - точки ЗМПП; 2 - точки АМТЗ; 3 - изолинии  $\rho_\tau$  (в Ом·м); 4, 5 - линии разброса показаний  $\delta = 20\%$  (4) и  $\delta = 100\%$  (5); 6, 7 - выделенные по результатам ЗМПП зоны пониженного - сотни омметров (6) и низкого - десятки омметров (7) - удельного сопротивления (на ПК 120-130 подтверждены результатами АМТЗ, по Н.Н. Орлову); 8, 9 - отражающие границы, соответствующие сильным (8) и прочим (9) отражениям; 10 - преломляющая граница; 11 - серпентиниты; 12 - габбро-нориты; 13 - ультраосновные породы (измененные); 14 - ультраосновные породы; 15 - гранито-гнейсы.



Важный результат работ последних лет в Аллареченском районе – подтверждение предполагавшегося с учетом материалов ММЗ многоярусного характера оруденения. При заверке бурением аномалий ММЗ и МЭК в районе рудника Восток вскрыты массив ультраосновных пород и ряд горизонтов с сульфидной медно-никелевой минерализацией (рис.3) при содержании никеля от 0.33 до 1.82% мощностью от 0.1 до 1.4 м. По данным РВП, оруденение прослежено по простиранию на 1300 м, по падению и восстанию – на 300–350 м.

В Центрально-Кольском районе в зоне сочленения Панского и Федоровотундровского массивов при разведке аномалий ММЗ в лежачем эндоконтакте массива вскрыта зона минерализации (донная залежь) с содержанием сульфидов до 20% при содержании никеля до 0.44%. Работы на объекте продолжаются. В западной части Панского массива сейсморазведкой установлено выполаживание его подошвы с глубиной.

Технические и методические достижения обобщены во „Временных методических рекомендациях по применению геофизических методов при поисках месторождений никеля в Карело-Кольском регионе“, одобренных Управлением геофизических работ Мингео СССР, а затем включенных в прогнозно-поисковые комплексы на никель.

Однако поисковая эффективность комплекса геофизических методов остается низкой. Существующая методика поисков не обеспечивает необходимой эффективности на глубоких горизонтах основных рудных районов региона, особенно в Печенгском рудном поле. Не разработан комплекс методов, позволяющий определять природу глубокозалегающих аномальных объектов бесконтактным способом.

Рис. 2. Результаты электроразведочных работ на Светлоозерском массиве (по В.Г. Забелину и др.).

а – геологическая карта (по А.Ф. Федюку) с изолиниями  $e/I$  при  $t = 3$  мс по результатам МПП с аппаратурой МПП-4 при размерах петлевой установки 200x200 м; б – то же по участку А-1С; в, г, д, е – результаты работ по ПР23 (в – графики  $e/I$  ( $I_L$ ) по результатам МПП ( $L = 100$  м – половина стороны петли), г – вертикальный разрез  $\rho_{\Sigma}$  по результатам МПП, д – графики  $\Delta U/I$  по результатам МЗ ( $MN = 20$  м) при зарядках в рудные тела по скв. 13 и 770; е – геологический разрез). 1–3 – изолинии  $e/I$  (в мВ/А): положительные значения (1), нулевая линия (2), отрицательные значения (3); 4 – изолинии  $\rho_{\Sigma}$  (в Ом·м); 5 – положение скважин в плане и на разрезе (их номера даны только для скв. 13 и 770); 6 – геологическая граница; 7 – осадочно-вулканогенные породы; 8, 9 – серпентиниты апоперидотитовые (8) и апооливинитовые (9); 10 – тальк-карбонатные породы; 11 – габбро; 12 – пироксениты; 13 – метасоматиты; 14 – ореолы бедной сульфидной вкрапленности; 15 – жилы богатых медно-никелевых руд; 16 – проекция на поверхность рудного тела, выделенного по данным МПП.

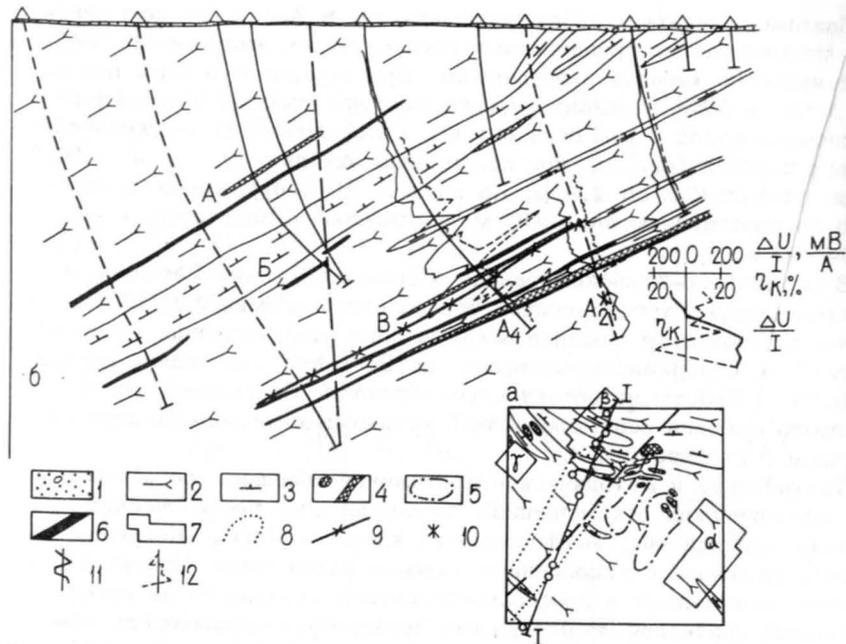


Рис. 3. Результаты электроразведочных работ на участке месторождения Восток.

Схематическая геологическая карта (а) и разрез по линии I-I (б) на основе материалов В.С. Тихонова и Г.Я. Кушнера. 1 - четвертичные отложения; 2 - мигматиты, гранито-гнейсы, переслаивание гранито-гнейсов с амфиболитами; 3 - амфиболиты; 4 - измененные ультраосновные породы; 5 - проекции на дневную поверхность контуров Верхней и Нижней залежей месторождения Восток; 6 - медно-никелевое оруденение (преимущественно брекчиевидное); 7 - результаты интерпретации материалов ММЗ (по М.М. Авдевичу, М.В. Семенову): положение в плане проводящих пластовых объектов (7), включенных в геоэлектрическую модель рудного поля наряду с Верхней и Нижней рудными залежами и положение в плане (8) и на разрезе (9) электропроводной зоны, выявленной по результатам ММЗ; 10 - точки заряда в скважинах ( $A_2$  и  $A_4$ ); 11, 12 - графики  $\Delta U/I$  (11) и  $\eta_k$  (12) по результатам измерений от зарядов в точках  $A_2$  (скв. 2675) и  $A_4$  (скв. 2751 и 3083), по Е.А. Закервашевичу, В.Ф. Финкелю. А - интрузивы (в том числе оруденелые), соответствующие горизонту Верхней залежи; Б - горизонт амфиболитов, контролирующей Нижнюю залежь; В - система ультраосновных интрузий и рудных тел, выявленных в результате проведения ММЗ.

Возможности поисковой геофизики не могут быть полностью реализованы из-за недостаточной технической оснащенности работ. Не развернута должным образом работа по автоматизации всего процесса геофизических исследований, включая сбор, обработку и интерпретацию геолого-геофизической информации.

Необходимо повысить отдачу геофизических исследований на стадии геолого-съёмочных работ масштаба 1:50 000 с общими поисками при выделении перспективных площадей и изучении их глубинного строения. Геофизическая изученность ряда районов поисков в Карело-Кольском регионе не отвечает современным требованиям (в частности, аэрогеофизическая съёмка, гравиметрия, сейсморазведка). Для решения задач глубинного геологического картирования в сложных условиях необходимо привлекать высокоточную гравиметрическую съёмку масштаба 1:25 000 в комплексе с сейсморазведкой методом ОГТ. Следует повысить на этой стадии роль методов электроразведки для картирования глубинных рудоконтролирующих структур. С этой целью, в частности, в перспективе (при серийном выпуске аппаратуры ЭСП-2) целесообразно внедрить метод АМТЗ (аудиомагнитотеллурическое зондирование). Первый опыт его применения в Восточной Карелии (рис. 1), в Центрально-Кольском районе, а также данные финских специалистов свидетельствуют о его глубинности, которая может превышать 1000 м.

При значительной роли хорошо проводящих прожилково-вкрапленных, брекчиевидных и сплошных сульфидных руд в сравнительно благоприятных условиях поиски на глубинах до 500 м и более в настоящее время осуществляются методами ММЗ, ЗМПП, скважинной геофизики. Этот комплекс будет применяться и в дальнейшем.

Повышение эффективности глубинных поисков с применением ЗМПП должно осуществляться в следующих направлениях.

1. Совершенствование методики и техники измерений с повышением помехоустойчивости (внедрение новой аппаратуры ЦИКЛ-3) и применением специальных измерительных установок, эффективных для поисков крутопадающих залежей.

2. Совершенствование методики обработки и интерпретации, предусматривающее тщательную фильтрацию помех, доработку способов расшифровки аномалий над крутопадающими объектами и создание методики разделения эффектов ПП и ВП (при знакопеременных аномалиях).

Предусматривается также дальнейшее развитие импульсных методов электроразведки, основанных на изучении в широком временном диапазоне характеристик поляризионных и индукционных полей.

Повышение эффективности скважинных поисковых исследований должно достигаться путем оптимизации комплекса и совершенствования отдельных методов электроразведки.

Повышение дальности поисков радиоволновым просвечиванием обеспечено за счет перехода к модификации, позволяющей выполнять работы при больших расстояниях между скважинами (до 600-1000 м), что достигается снижением частоты, повышением мощности источника, снижением порога чувствительности приемника и совершенст-

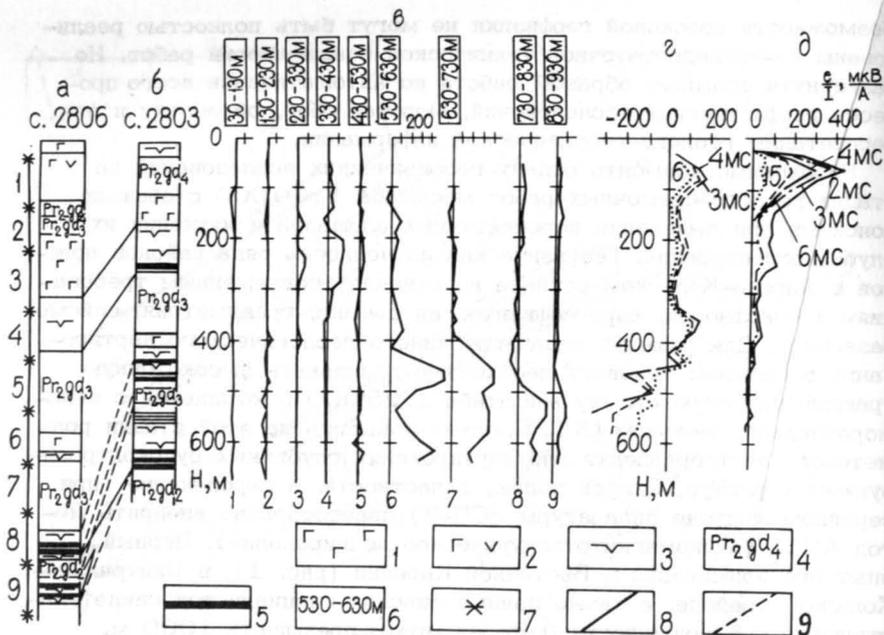


Рис. 4. Результаты скважинных работ модификациями МПП с аппаратурой МПП-4 на участке Соукер (по А.Д. Ефимову).

а, б - геологические колонки по зарядной скв. 2806 (а) и измерительной скв. 2803 (б); в - графики  $e/I$  при  $t = 2$  мс по методике электромагнитной корреляции; г - графики  $e/I$  от заряда в скв. 2806; д - графики  $e/I$  при возбуждении поля незаземленной петлей размером  $1000 \times 1000$  м. 1 - габбро; 2 - габбро-диабазы; 3 - серпентиниты по перидотитам; 4 - филлитовые сланцы; 5 - рудные интервалы; 6 - интервал положения генераторной линии АВ; 7 - точки заземления; 8, 9 - корреляция горизонтов ультраосновных интрузий по данным МПП (8) и геологическим данным (9).

вованием методики обработки наблюдений. Ближайшая задача - более полное внедрение этого метода в практику поисковых работ в Карело-Кольском регионе.

Дальнейшее увеличение глубины исследования низкочастотными скважинными индукционными методами связано с внедрением разрабатываемой в настоящее время аппаратуры „Синус“, обеспечивающей работу в скважинах глубиной до 1,5 км. Предусматривается также освоение результатов работ по применению новых скважинных индукционных методов для поисков в межскважинном и подзбойном пространстве (метод поля токов, межскважинное профилирование).

Возможности применения геоэлектростатических методов будут расширены с внедрением новой станции СПК. В частности, появится

возможность внедрения метода БСПК - бесконтактного способа поляриционных кривых.

Эффективность работ методом заряда в районах со сложными условиями (наличие хорошо проводящих рудовмещающих пород) может быть повышена путем более широкого внедрения модификации с измерением составляющих магнитного поля, зарядных вариантов [2], включая метод электрической (ВП) и электромагнитной (ПП) корреляции, а также акустический метод. В примере, показанном на рис. 4, корреляция ПП позволяет не только выделить рудные интервалы, не отмечавшиеся СМПП (рис. 4, д), но также - более правильно идентифицировать рудный интервал в двух скважинах (600-640 м в скв. 2803). Применение корреляции ВП кроме районов со сложными геоэлектрическими условиями эффективно также для залежей с несплошным оруденением. Преимущества этого метода показаны при выделении новой рудной залежи месторождения Восток (рис. 3, б). В случае преобладания вкрапленных руд и при изучении ореолов вкрапленного оруденения в составе электроразведочных методов ведущая роль остается за методом ВП. При этом наиболее важная задача - определение природы аномалий - решается путем исследования временных характеристик ВП.

Приведем основные задачи, в решении которых силами НИИ заинтересовано ПГО „Севзапгеология“: 1) повышение помехоустойчивости аппаратуры МПП для обеспечения требуемой глубинности поисков; 2) разработка методики интерпретации знакопеременных аномалий МПП; 3) повышение дальности поисков в околоскважинном, межскважинном и подзбойном пространстве методами скважинной геофизики; 4) совершенствование методики истолкования комплексных данных и материалов отдельных методов электроразведки; 5) разработка бесконтактного способа определения природы глубоко залегающих аномалообразующих объектов.

## ЛИТЕРАТУРА

- Свьяженинов Ф.И., Гринченко Б.М., Тюрменов В.А. Геофизические исследования при поисках и разведке медно-никелевых руд на Кольском полуострове. Апатиты, 1984, 199 с.
- Шкорбатов С.С., Медведева Г.И., Богданов Л.А. и др. Применение новых модификаций электроразведки при поисках медно-никелевых руд в Карелии // Пути повышения разрешающей способности методов геофизических работ в восточной части Балтийского щита. Геолфонд РСФСР, М., 1987.
- Vargin G., Borovko N., Savin A. Construction of geoelectrical models for copper-nickel deposits of the Kola-Karelia region // Electrical prospecting for ore deposits in the Baltic Shield. Part I. Espoo, 1986. P. 8-19. (Geol. Surv. Finl. Report of Investigation 73).

## ВАЛУННЫЙ МЕТОД ПОИСКОВ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ НА КОЛЬСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ

К настоящему времени работами многих исследователей установлены основные закономерности размещения месторождений медно-никелевых руд в Карело-Кольском регионе, изучены их формационные типы, определены геотектонические позиции и намечены зоны, перспективные на выявление новых месторождений. Однако, несмотря на общую высокую перспективность региона на медно-никелевые руды, проблема их поиска остается весьма актуальной. Широкая постановка геофизических и геохимических работ, выполнение значительного объема бурения пока не принесли ожидаемых результатов. В чем здесь причины?

Одной из них является то, что геофизические и геохимические методы, хотя и дают большое число аномалий, предварительно связываемых с никеленосными телами, но интерпретируются крайне неоднозначно. Разбраковка их бурением чревата огромными затратами и практически невозможна. Как показывает опыт, при разбуривании массивов базитов и гипербазитов даже по сети 100x100 м возможен пропуск рудных тел, поскольку они не выдержаны по простиранию и маломощны [5]. Еще большие трудности возникают при разбуривании геофизических и геохимических аномалий; к тому же последние зачастую расплывчаты, велики по площади и нередко связаны с силикатным никелем.

Из-за крайне слабой обнаженности (кристаллическое основание Кольского п-ова на 90% перекрыто чехлом четвертичных отложений) весьма сложно выявлять медно-никелевые руды непосредственно в обнажениях, хотя в прошлом именно в ходе маршрутных геологических поисков были обнаружены коренные выходы рудных тел и открыты главные медно-никелевые месторождения Мурманской области - Мончегорское, Аплареченское, Восток, Ловно, а еще ранее - Петсамо. Исключать обнаружение обнажений рудных пород нельзя и ныне, но, очевидно, нужен такой метод поисков, посредством которого даже на закрытых площадях можно оперативно производить разбраковку геохимических и геофизических аномалий, оценивать на никель перспективные зоны, тела базит-гипербазитов и выявлять (или оконтуривать) рудоносные массивы.

Такой метод известен достаточно давно. Это поиски месторождений по рудным валунам. Существующая методика валунных поисков базируется на теории ледникового генезиса валунных отложений, но критерии, лежащие в основе этой методики, были выработаны эмпирически в ходе практических поисков еще до становления ледниковой теории. Эмпирическими они остаются и поныне.

В 1978-1986 гг. на Кольском полуострове проводились валунные поиски медно-никелевых руд Центрально-Кольской КГЭ. Эти исследования позволили разработать принципиально новую методику

валунных поисков, выявить залежи медно-никелевых руд и несколько перспективных рудопоявлений. Предлагаемая методика исходит из тектонического происхождения валуно-глыбовых отложений ("основной морены") и экзарационных форм рельефа - бараньих плов, курчавых скал, штриховки и полировки кристаллических пород, других форм "экзарационного" рельефа. Доказательства формирования этих образований в процессе неотектонических разрывных дислокаций приведены ранее [6-8] и здесь излагаются в краткой форме.

Формирование валуно-глыбовых отложений. Фундамент восточной части Балтийского щита разбит весьма густой сетью разрывных нарушений. Часть этих разрывов связана с линейной (планетарной) трещиноватостью, которая образует систему ортогональных, широтных и диагональных разрывов. Другая часть разломов сформировалась позднее в процессе тектонической активизации щита. Оба типа разрывов проявлены в современном рельефе и хорошо дешифрируются на аэро- и космоснимках и относятся к подновленным, активизированным на неотектоническом этапе разломом.

В то же время, как показывают полевые наблюдения, неотектонические смещения происходили по разрывам линейной сети и разломом сугубо тектонического происхождения. Большая часть разрывных неотектонических дислокаций относится к приповерхностным нарушениям сколового типа - взбросо-надвигам, сбросам и сдвигам неглубокого заложения, т.е. имело место смещение относительно маломощных блоков и пластов пород. Эти смещения развивались в условиях резкого преобладания в верхней части земной коры горизонтального тектонического сжатия, характерного и для современной тектонической обстановки Балтийского щита.

Движения по разломом, приповерхностные смещения блоков пород привели к созданию "экзарационного" рельефа (бараньих плов, курчавых скал, озерных котловин, фиордов, шхерного рельефа). Столь широко развитая штриховка и полировка кристаллических пород - это следы блоковых смещений по разломом, тектонические зеркала скольжения. Приповерхностные разрывные дислокации имеют прямое отношение к происхождению четвертичного валуно-глыбового материала, являющегося продуктом распада на глыбы и более мелкие отдельные смещенных блоков пород. Процессы приповерхностных сколовых смещений блоков пород привели и к образованию валуно-глыбово-песчаных отложений, столь широко развитых на Кольском полуострове. Механизм их формирования заключается в перемешивании распавшихся на глыбы, валуны, щебень аллохтонных тектонических блоков и песчано-глинистого материала дочетвертичных кор выветривания, перекрывавших эти блоки [6]. В зависимости от активизации разломов и разломных зон эти процессы были одно-разовыми или многократными.

Валуно-глыбовые отложения несут характерные черты их тектоно-динамического происхождения: валуны и глыбы имеют пришлифованные плоскости, штриховку на них, иногда плоско-выпуклую и клиновидную ("уугообразную") форму. Валуны отложения неред-

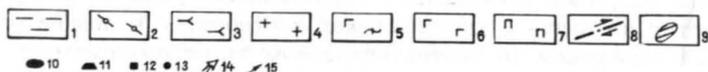
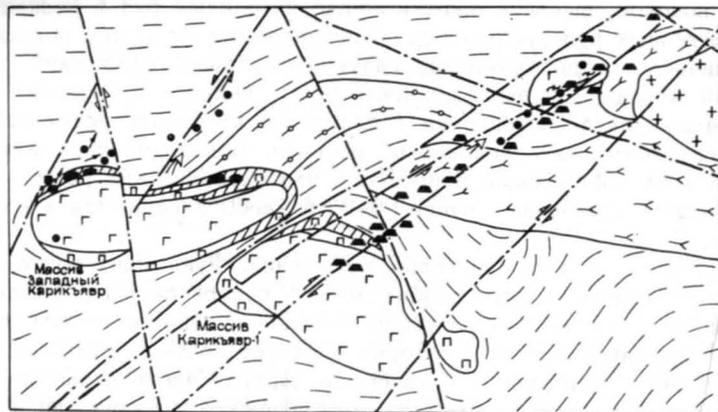


Рис. 1. Геологическая схема результатов валунных поисков на участке Карикъявр-г. Бол. Кариквайвишь.

1 - гнейсы биотитовые с силлиманитом и мигматиты по ним; 2 - сланцы силлиманит-кордиерито-амфиболовые и мигматиты по ним; 3 - гнейсы биотито-амфиболовые и гранато-биотитовые, мигматизированные; 4 - граниты микроклиновые порфировидные; 5 - габбро-амфиболиты; 6 - габбро; 7 - перидотиты и пироксениты; 8 - неотектонические разломы; 9 - рудная зона массива; 10 - обнажения рудного тела; 11-13 - рудные валуны (содержание никеля 0,6-2,7%): 11 - перидотиты, метаперидотиты, 12 - пироксениты, метапироксениты, 13 - амфибол-серпентиновые породы; 14 - общее направление сноса валунного материала; 15 - тектонические штрихи.

ко имеют чешуйчатое строение, в них развиты разного рода пликативные и разрывные структуры, наблюдается упорядоченная ориентировка удлиненных обломков галечной размерности. Последнее, как известно, присуще отложениям тектоно-динамического генезиса [3]. Валунно-глыбовые отложения Кольского полуострова залегают непосредственно на коренных породах, имеют мощность от первых метров до десятков метров. Петрографический состав валунно-глыбового материала, как отмечал еще А.В. Сидоренко, обнаруживает тесную связь с местными породами, а мелкозем отвечает составу кор выветривания.

Закономерности перемещения валунно-глыбового материала. Для выяснения направления и дальности перемещения валунно-глыбового материала особую значимость имеет изучение неотектонических разломов, их кинематики. Сопоставление данных по перемещению рудных и безрудных валунов с массивов базит-гипербазитов с планом разломной тектоники показывает, что простирание вееров разноса

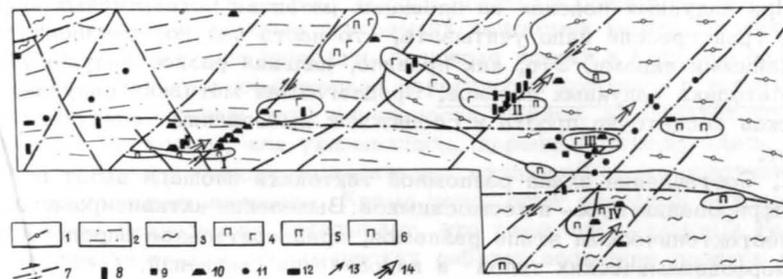


Рис. 2. Геологическая схема результатов валунных поисков на Солозерской площади.

1 - кордиерито-биотитовые, кордиерит-гранато-биотитовые гнейсы; 2 - гранато-биотитовые, биотито-амфиболовые гнейсы; 3 - амфиболиты, биотито-амфиболовые гнейсы; 4 - габбро, габбро-нориты, нориты; 5 - пироксениты; 6 - перидотиты; 7 - неотектонические разломы; 8-12 - рудные валуны (содержание никеля 0,6-1,5%): 8 - нориты, габбро-нориты, 9 - пироксениты, 10 - перидотиты, 11 - амфиболо-серпентиновые породы, 12 - амфиболиты; 13 - тектонические штрихи; 14 - направление перемещения валунно-глыбового материала; I-III - никеленосные массивы базит-гипербазитов, IV - гипербазитов.

валунов в общем виде совпадает с простиранием неотектонических разрывных структур. В свою очередь дальность перемещения валунно-глыбового материала, контуры валунных шлейфов обусловлены особенностями динамического развития разломов, направленностью сжимающих тектонических напряжений и возможностью разгрузки этих напряжений путем скалывания и перемещения блоков пород в доминирующем направлении.

Важное значение имеют процессы повторных смещений по разломам. Это является причиной того, что с одних массивов валунно-глыбовый материал смещен на десятки метров, а с других - на несколько километров. В свою очередь образование оперяющих разломов, активизация движений по ним ведет к формированию конусовидных (а не только линейных, потоковых) валунных шлейфов.

В зонах разломов высоких порядков имеет место не только приповерхностное скалывание. Особенности распределения валунно-глыбового материала, состав рудных валунов в некоторых случаях (например, на участке Карикъявр) позволяют считать, что по пологопадающим разломам (надвигам) блоки пород и тектоническая брекчия выносились с глубины в несколько десятков и более метров и перемещались по латерали на расстояние до сотен метров и первых километров. Это может быть использовано и для поисков слепых рудных тел. Можно полагать, что в массивах гипербазитов имеет место и протрудирование отдельных частей пород, выведение их по разрывам на поверхность. Такие тела дают много обломочного материала, который группируется близ лежачего бока массива.

При валунных поисках на площадях развития четвертичных морских трансгрессий надо учитывать, что часть валунов разносилась припайными льдами. Это, как правило, дальний разнос валунов [9].

Методика валунных поисков. Предлагаемая методика валунных поисков достаточно проста и сводится к выполнению следующих работ.

1. Составление плана разломной тектоники площади работ по дешифрированию аэро- и космоснимков. Выделение активизированных на неотектоническом этапе разломов, предварительное определение их морфодинамических типов и направления смещений.

2. Вынос известных массивов базит-гипербазитовой формации, тел коматиитов, геофизических и геохимических аномалий, связываемых с потенциально никеленосными телами, известных точек рудной минерализации (и рудопроявлений, если таковые имеются) на план разломной тектоники. На этот же план выносятся зоны, перспективные по комплексу признаков на медно-никелевые руды.

Указанные работы выполняются в предполевой период и затем уточняются в процессе полевых работ.

3. Полевые работы. Основой валунных поисков являются геологические поисковые маршруты. В маршрутах на поверхности и в разрезах четвертичных отложений ведутся поиски валунов (и глыб) основных и ультраосновных пород с сульфидным медно-никелевым оруденением и минерализацией, изучаются коренные выходы базит-гипербазитов, других потенциально никеленосных пород.

При нахождении рудного валуна - первого признака перспективности участка на медно-никелевые руды маршрутная сеть сгущается с целью выявления как можно большего количества рудных и сопутствующих оруденению валунов. Производится оконтуривание площади развития рудных валунов, построение валунного шлейфа.

Вероятное направление перемещения валунов от коренного источника определяется по простиранию разломов, ориентировке тектонических штрихов и борозд, зеркал скольжения, простиранию грядово-тектонического рельефа, а также по рисунку шлейфа рудных валунов и разному локальным руководящих валунов. По совокупности признаков определяется голова шлейфа рудных валунов, указывающая на местоположение рудоносного массива.

Процентное содержание никеля, меди, кобальта и рудных минералов (пентландит, халькопирит, пирротин, кубанит и др.) в валунах в целом близко к значениям этих компонентов в коренных породах, хотя и не достигает их максимальных содержаний, так как валуны сплошных сульфидных руд на поверхности (но не в разрезе четвертичной толщи) постепенно разрушаются.

Можно констатировать, что рудные валуны, будучи по своей природе фрагментами коренных пород, смещенными на то или иное расстояние, дают достаточно полное представление о составе и формационных типах оруденения материнского массива. По валунам можно установить примерные значения никеля, меди и кобальта и рудных минералов в искомой рудной залежи.

Валунные поиски в своей основе являются опережающими работами в комплексе более трудоемких поисковых работ. Возникает вопрос - следует ли проводить валунные поиски в Карело-Кольском регионе, геолого-геофизическая изученность которого в целом весьма высокая. Степень этой изученности, однако, не следует переоценивать, поскольку, как указывалось, коренные породы здесь на 90 % перекрыты чехлом четвертичных отложений и малодоступны непосредственному изучению. Кроме того, опыт валунных поисков на Кольском полуострове показывает, что даже при детальном геолого-геофизических и геохимических работах возможен пропуск рудоносных массивов.

Так, на участке Карикъявр (район к северо-востоку от Печенгской структуры) валунными поисками в 1980 г. был выявлен габбро-норит-перидотитовый массив Западный Карикъявр с промышленными залежами медно-никелевых руд. Этот массив расположен в непосредственной близости к рудоносному массиву Карикъявр-1 (массив-1) известному с 1972 г. (рис. 1). Несмотря на проведение детальных геофизических, геохимических и геолого-поисковых работ, существование массива Западный Карикъявр осталось неизвестным и на его месте изображалось поле гнейсов [1, 4]. В ходе валунных поисков были обнаружены не только рудные валуны и предварительно оконтурен новый рудоносный массив, но выявлены четыре обнажения рудного тела массива, незамеченные предыдущими исследователями.

Другой пример касается зоны предполагаемого сочленения Имандра-Варзугской и Печенгской структур (Солозерская площадь). На этой площади ранее кроме крупномасштабных геологических съемок проведены детальные геолого-геофизические работы и выполнено бурение по проверке магнито- и электроразведочных аномалий. Но массивов базит-гипербазитов не было обнаружено. Валунными поисками, проведенными на этой площади, было оконтурено несколько шлейфов рудных валунов норитов и перидотитов, прослеживание которых привело к выявлению трех дифференцированных массивов габбро-норит-перидотитового состава с близпромышленным медно-никелевым оруденением вкрапленного типа и одного массива гипербазитов с бедной медно-никелевой минерализацией (рис. 2). В этой же зоне закартировано еще несколько шлейфов рудных валунов ультраосновных и основных пород с вкрапленным медно-никелевым оруденением, коренные источники которых намечены предварительно.

Район, прилежащий к западному борту Кандалакшского грабена (Северо-Западное Беломорье), известен большим количеством (более 500) массивов базитов и меньшим числом гипербазитовых тел. Эти интрузивы было принято относить к безникелевой формации [2]. Валунными поисками (1986 г.) в полосе развития этих массивов - на участках Старцевском и Ругозерском - были выявлены шлейфы рудных валунов габбро-норитов и перидотитов, несущих вкрапленное медно-никелевое оруденение с содержанием никеля до 1%, меди - до 2,4%. Валуны по составу аналогичны известным здесь породам этого комплекса и происходят из рудоносных массивов перцит-габбро-норитовой формации.

Таким образом, валунные поиски являются эффективным поисковым методом в условиях слабообнаженных и необнаженных районов Кольского полуострова. Посредством их можно оперативно вести разбраковку геофизических и геохимических аномалий, связываемых с никеленосными телами, оценивать рудоносность конкретных массивов базит-гипербазитов и коматиитов и выявлять новые тела с медно-никелевым оруденением.

Валунные поиски можно рассматривать в качестве основного оперативного метода в оценке рудоносности крупных зон, выделенных по совокупности геолого-структурных признаков, в том числе по результатам космогеологического картирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бакушкин Е.М. Формационное деление никеленосных базит-гипербазитов северного обрамления Печенги // Магматические формации и рудоносность базит-гипербазитов Кольского полуострова. Апатиты, 1980. С. 51-65.

2. Балаганский В.В., Ефимов М.М., Богданова М.Н., Козлова Н.Е. Эволюция базит-гипербазитового (друзитового) магматизма Северо-Западного Беломорья // Магматические комплексы докембрия северо-восточной части Балтийского щита. Апатиты, 1983. С. 54-65.

3. Белоусов В.В. Тектонические разрывы, их типы и механизм образования. М., 1952. 145 с.

4. Горелов В.А., Кольцова З.М., Копытько Б.Г. Медно-никелевое рудопроявление Карикъявр в северо-восточном обрамлении Печенгской структуры // Геология и структура рудных месторождений Кольского полуострова. Апатиты, 1980. С. 53-60.

5. Макаров В.Н., Проскуряков В.В., Кочнев-Первухов В.И. Критерии поисков метаморфогенных медно-никелевых руд в интрузивных телах, претерпевших зеленсланцевый метаморфизм // Геологический журнал. 1985. Т. 45, № 1. С. 41-46.

6. Чувардинский В.Г. Приповерхностные тектонические деформации и их роль в формировании экзарационного рельефа и деструкции кор выветривания // Кора выветривания и гипергенные полезные ископаемые восточной части Балтийского щита. Апатиты, 1983. С. 104-119.

7. Чувардинский В.Г. О тектонической природе рельефа бараньих льдов и других форм ледниковой экзарации // Природа и хозяйство Севера. Вып. 12. Мурманск, 1984. С. 29-36.

8. Чувардинский В.Г. О происхождении и механизме формирования некоторых типов тектонического рельефа, сходного с экзарационным (на примере восточной части Балтийского щита) // Задачи механики в гляциологии и геокриологии. М., 1984. С. 82-104.

9. Чувардинский В.Г. Геолого-геоморфологическая деятельность припайных льдов (по исследованиям в Белом море) // Геоморфология. 1985, № 3. С. 70-77.

Н.М. Чернышов, С.П. Молотков,  
Л.С. Галецкий, А.Я. Каневский,  
И.Б. Щербаков, А.Б. Фомин

#### ПЕРСПЕКТИВЫ НИКЕЛЕНОСНОСТИ ЦЕНТРАЛЬНЫХ И ЮЖНЫХ РАЙОНОВ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Основные ресурсы сульфидных медно-никелевых руд связаны со следующими ультрамафит-мафитовыми формационными типами, формирующимися в различных эндогенных режимах. 1) Вулкано-интрузивными ассоциациями: а) коматиитсодержащими энсиалического рифтогенеза (перидотитовые коматииты, комагматичные им дуниты, иногда габброиды) архейских зеленокаменных поясов (Западная Австралия, Канада, Зимбабве, Финляндия); б) пикрит-базальтовыми и ультрамафитовыми (Печенга, Лин-Лейк и др.); ультрамафит-мафитовыми (Норильск, Дупут и др.) внутриконтинентальных рифтогенных зон и региональных приразломных прогибов. 2) Крупными расчлененными ультрамафит-мафитовыми комплексами (Бушвельд, Стиллутер, Мончегорск) и ассоциированными с ними норит-диоритовыми телами (Садбери, Елань) глубинных разломов прогрессирующей стабилизации платформы (на кратонах). Кроме того, известны месторождения, генетически связанные с перидотит-пироксенит-габброноритовыми интрузивами в гранулитогнейсовых комплексах раннеархейских нуклеократонов (Кольский регион, Норвегия, Швеция) и в более молодых складчатых структурах (Шануч, Чай, Йок-Довырен, некоторые месторождения Китая и Индии).

В пределах Воронежского кристаллического массива (ВКМ) и Украинского щита (УЩ) широко развиты ультрамафит-мафитовые формации, которые по геодинамическим режимам формирования, геологоструктурному положению, петролого-геохимическому облику и другим признакам обнаруживают значительные аналогии с известными никеленосными комплексами. К их числу относятся следующие [2, 6, 11-15]: 1) вулкано-интрузивный слабо дифференцированный коматиит-базальтовый и перидотит-пироксенит-габброноритовый раннеархейских нуклеократонов; 2) дифференцированный вулкано-интрузивный коматиит-базальтовый позднеархейских зеленокаменных поясов; 3) дунит-перидотит-габброноритовый нижнепротерозойского этапа прогрессивно стабилизирующихся мегаструктур, включающий дифференцированные ультраосновные интрузии, расчлененные плутоны и ассоциированные с ними сульфидносные норит-диоритовые тела.

Сравнительно мало исследованный слабо дифференцированный коматиит-базальтовый комплекс развит в раннеархейских гранулитогней-

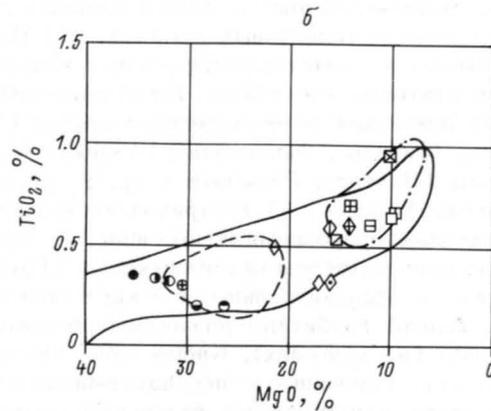
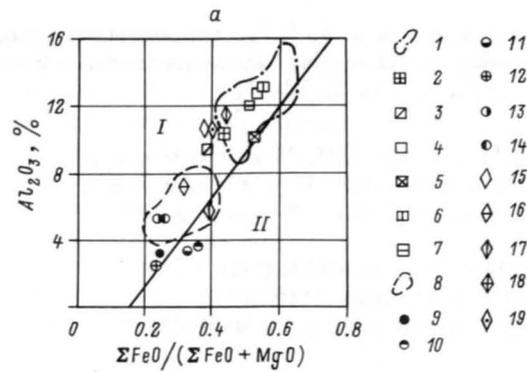
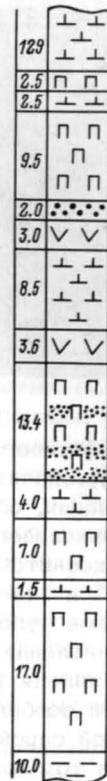


Рис. 1. Диаграмма:  $Al_2O_3 - (\Sigma FeO / \Sigma FeO + MgO)$  (а) и  $TiO_2 - MgO$  (б) для коматиитов Среднего Побужья (Украинский щит) и других регионов СССР и мира.

Коматииты базальтовые: 1 - Среднее Побужье; 2 - хр. Полмос-Порос [1]; 3 - Имандра-Варзуга [10], Кольский полуостров; 4 - КМА [5]; 5 - тип барбертон, ЮАР [17]; 6 - Манро-Тауншип, Канада [16]; 7 - Якабинди, Западная Австралия [18]; коматииты перидотит-пироксенитовые: 8 - Среднее Побужье; коматииты перидотитовые: 9 - КМА [6], 10 - хр. Полмос-Порос; 11 - там же, кумулятивные, Кольский полуостров [1]; 12 - свита комати, ЮАР [17]; 13 - Манро-Тауншип, Канада [16]; 14 - Якабинди, Западная Австралия [18]; коматииты пироксенитовые: 15 - КМА [6], 16 - Гелуг, 17 - тип Бадплаас, ЮАР [17], 18 - Манро и Тауншип, Канада [16], 19 - Якабинди, Западная Австралия [18]. На диаграммах: I - коматиитовая, II - толеитовая серии Канады и Западной Австралии. Сплошная линия - поле коматиитов тех же регионов по А.Налдрету и Л. Кабри;  $Fe_2O_3$  пересчитано на  $FeO$ .

Рис. 2. Строение потока коматиитов по скв. 1016А (Молдовская структура, Демовьярский участок).

1-3 - коматииты (1 - перидотитовые, 2 - пироксенитовые, 3 - базальтовые); 4 - гнейсы графит-биотитовые с прослоями кальцифиров; рудная сульфидная минерализация: 5 - медно-никелевая, 6 - пирротин-пиритовая.



совых складчато-блоковых структурах (Курско-Бесединский, Брянский, Побужский, Приазовский и другие блоки). Отнесение этих блоков и развитых в их пределах ультраосновных и основных пород к раннему докембрию в известной мере условно. О принадлежности ультрамафит-мафитовых ассоциаций Среднего Побужья к раннеархейским образованиям свидетельствуют полученные Н.П. Шербаковым данные<sup>1</sup> изотопной датировки (3.5 млрд. лет) по циркону метабазитов (пос. Звалье, кол. Г.Г. Виноградова), имеющих несомненно более молодой возраст (по сравнению с коматиитсодержащей серией Среднего Побужья).

В пределах указанных блоков коматииты совместно с количественно преобладающими высокожелезистыми толеитовыми базальтами слагают ряд (до 3-7) лавовых потоков различной мощности (до 70 м) и протяженности (1-7 км) и тесно ассоциируют с интрузивами перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации, пироксенитовыми гранулитами, гнейсами, кальцифирами и своеобразными железорудными образованиями, претерпевших метаморфизм в условиях гранулитовой и последующей регрессивной амфиболитовой фазий.

По ряду петролого-геохимических признаков - высокомагнезиальный оливин ( $Fa_{8-12}$ ) и ортопироксен ( $Fs_{10-19}$ ), клинопироксен-диопсид, диопсид-авгит, повышенное содержание в ультрамафитовых коматиитах  $MgO$  (21-32%) и  $FeO$  (7-15%) и пониженное - щелочей (0.2-1%), близкие к единице величины отношений  $CaO/Al_2O_3$  и  $Pt/Pd$ , несколько повышенная концентрация никеля (до 0.2-0.50%) и преобладание его над медью, а также по положению на диаграммах  $Al_2O_3 - \frac{FeO}{FeO + MgO}$  и  $TiO_2 - MgO$  (в%) - коматииты обнаруживают некоторые черты сходства с никеленосными ультраосновными вулканитами раннеархейских зеленокаменных поясов Канады, Австралии и др. (рис. 1).

<sup>1</sup> По неопубликованным материалам.

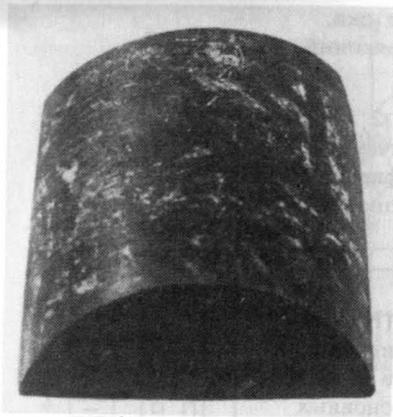


Рис. 3. Структура „квенч“ в перидотитовом коматитите из скв. 15036 (Полянецкая структура на Среднем Побужье). Ув. 2.

Геолого-структурный анализ выявляет и ряд других признаков сходства областей развития коматититсодержащих структур с известными архейскими никеленосными зеленокаменными поясами, в том числе широкое развитие в пределах Первомайско-Голованевской зоны Среднего Побужья вулкано-интрузивных структур ультра-

рамафит-мафитового состава (Молдовская, Тарноватская, Кумаровская и др.), значительные мощности метавулканитов коматититового ряда и, наконец, обнаружение на Демовьярском участке сульфидного медно-никелевого оруденения. Это оруденение приурочено к контакту пироксенитовых и перидотитовых коматититов со структурами „спинифекс“ и „квенч“ (рис. 2, 3), слагающих мощный (до 200 м) поток. Рудное тело представлено вкрапленными и гнездово-вкрапленными пентландит-халькопирит-пирротиновыми рудами; содержание в нем никеля (в %) 0.44, меди - 0.15, кобальта - 0.034. Характерной особенностью этих руд является обогащение их изотопно легкой серой ( $\delta^{34}\text{S} = -0.5 \div -7.2\%$ ). Следует отметить, что в том же разрезе установлены многочисленные проявления колчеданных (пирит-пирротиновых) руд в пироксенитовых коматититах.

По ряду черт - слабо проявленная дифференциация, повышенная железистость ( $\Sigma \text{FeO} > 10$ ), умеренная магнезиальность ( $17 < \text{MgO} < 31\%$ ), низкие содержания щелочей (0.5-1.1%), серы ( $\sim 0.1\%$ ), повышенная концентрация хрома (0.3%), титана (0.2-0.6%), никеля (до 0.2%), небольшие по размерам (0.3-3 км<sup>2</sup>)-многочисленные интрузии перидотит-пироксенит-габбро-норитовой формации, образующие сложномозаичные „пояса“ в пределах ранне-архейских блоков, сопоставимы с аналогичными телами в гранулит-гнейсовых комплексах Кольского полуострова (рудопоявления Суэйнлагаш, Юнгес, Ловнозеро).

Особая роль принадлежит ультрамафит-мафитовым вулкано-интрузивным ассоциациям позднеархейских зеленокаменных поясов, имеющих прерывистый характер и значительную протяженность (до 500 км). Ультрамафит-мафитовые вулканиты здесь представлены многократным переслаиванием потоков коматититов (перидотитовые, пироксенитовые, базальтовые) и толеитовых базальтов; достаточно широко развиты вулканогенно-осадочные и железисто-кремнистые породы, метаморфизованные в условиях зеленосланцевой и отчасти эпидот-амфиболитовой фаций. Мощность коматититов составля-

ет от 2-20 до 350 м (Верховцевская и Белозерская структуры, Белгородско-Михайловский и Орловско-Тимской пояса).

Характерными особенностями перидотитовых и пироксенитовых коматититов, превращенных обычно в серпентиниты, тальк-карбонатные, хлорит-карбонат-тальковые, карбонат-хлорит-тремолитовые и серпентин-хлоритовые разности, являются: 1) преимущественно мелкозернистый, реже средне-крупнозернистый кумулятивный облик пород, наличие реликтовой структуры спинифекс; 2) сравнительно высокомагнезиальный состав оливина ( $F_{\alpha} 6-20$ ), ортопироксена (бронзит  $F_{\beta} 10-20$ ) и ограниченное развитие клинопироксена (субкальциевый авгит-диопсид;  $F_{\beta} 15-17$ ); 3) высокая основность ( $14 < \text{MgO} < 35\%$ ), низкие содержания щелочей, изотопно облегченной ( $\delta^{34}\text{S} = 0.2 \div -3.3\%$ ; ВКМ) серы ( $\text{S}_2\text{O}_3 - 0.2-0.3\%$ ); повышенные концентрации в перидотитовых коматититах  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  (0.30%), наличие высокохромистых ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  50%) цинксодержащих ( $1.5 < \text{Zn} < 2.2\%$ ) хромшпинелидов [7], а также Ni (0.18-0.3%), что предопределяет вероятность обнаружения сульфидных никелевых руд австралийского типа [6, 7, 13]. К наиболее перспективным относятся прежде всего Олимпийский и Косиновский участки Белгородско-Михайловского пояса, Сурский и Верховцевский в пределах Приднепровского пояса. Региональные различия проявляются лишь в несколько повышенном содержании  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , а также в более резком преобладании Pt над Pd ( $\text{Pt}/\text{Pd} = 3-8$ ) в коматититах ВКМ по сравнению с аналогичными породами УШ, которые заметно обогащены никелем (0.2-0.5%) и серой ( $> 0.2\%$ ). На диаграммах -  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \frac{\Sigma \text{FeO}}{\Sigma (\text{FeO} + \text{MgO})}$  и  $\text{TiO}_2 - \text{MgO}$  (в %) позднеархейские мафит-ультрамафитовые вулканиты УШ и ВКМ располагаются в поле никеленосных коматититов Западной Австралии, Канады, Южной Африки и Балтийского щита (рис. 1).

Петролого-геохимический облик ультрамафитов дунит-гарцбургитовой формации, слагающих небольшие по мощности (100-200 м) и протяженности (до 3-5 км) пластовые и линзовидные тела в зеленокаменных поясах, определяется [12-14]: 1) высокой магнезиальностью ( $24.0 < \text{MgO} < 46\%$ ) при сравнительно повышенной железистости ( $8 < \text{FeO} < 10\%$ ), крайне низкими содержаниями  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (0.9-1.7%), щелочей (0.17-0.20%),  $\text{TiO}_2$  (0.04-0.11%), четко выраженной геохимической специализацией на Cr ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  до 0.46%); 2) неравновесным по магнезиальности и железистости парагенезисом оливина ( $F_{\alpha} = 8-13\%$ ) и ортопироксена ( $F_{\beta} = 20-25\%$ ); преобладанием Pt над Pd ( $\text{Pt}/\text{Pd} = 1.3-1.5$  УШ; 3-9 ВКМ), повышенными концентрациями Ni (0.24-0.33) при крайне низком содержании серы ( $\text{S} = 0.06-0.08\%$ ), что предопределяет его преимущественную связь с магнием в породообразующих минералах с последующим формированием за счет силикатов незначительных по масштабам месторождений (УШ) и рудопоявлений (ВКМ) никеля в корках выветривания; известны также проявления бедной сульфидной медно-никелевой минерализации метаморфогенного типа [9].

Известные в пределах ВКМ сульфидные медно-никелевые месторождения, связанные с дунит-перидотит-габбро-норитовой формацией Восточно-Воронежского (Воронцовского) эпикратонного прогиба, представлены двумя геолого-генетическими типами: 1) медно-никелевыми в ультраосновных породах дифференцированных умеренно-магнезиальных ультрамафитовых интрузий (Нижний Мамон, Подколдновка, Юбилейное и др.) и ультрамафит-мафитовых плутонов (Пионерское, Вязовское и другие рудопоявления). По генетическим особенностям мамонский тип месторождений является собственно магматическим, позднее несколько метаморфизованным, а его ресурсы определяются размерами интрузивных тел, объемами и полнотой развития наиболее обогащенных оливином дифференциатов; 2) существенно никелевыми в норит-диоритовых телах (Еланское, Троишкое, Елкинское и др.), сформировавшимися, вероятно, в результате магматического замещения и последующего переотложения ранее образованных коматит-ассоциированных руд архейского основания и придонных залежей плутонов (тип Садбери; [3, 4, 13]). Важно особенно подчеркнуть, что сульфидные никелевые руды в норитах приурочены к Елань-Эртильской зоне, выделяемой в качестве глубокоэродированной наиболее перспективной рифтогенной структуры с широким развитием в ее пределах наряду с крупными расчлененными плутонами мафит-ультрамафитов (Еланский, Вязовский и др.) многочисленных самостоятельных норитовых и норит-диоритовых тел субвулканического типа.

В пределах УШ перспективными на месторождения мамонского типа являются умеренно-магнезиальные ( $MgO < 30\%$ ) дифференцированные тела Девладовской зоны и сопредельных с ней площадей, где в слабо измененных перидотитах и габброидах встречена сингенетическая пентландит-халькопирит-пиротиновая минерализация [9, 12, 14].

В оценке перспектив общей никеленосности УШ представляет интерес сульфидная минерализация в габбро-пироксенитах Октябрьского массива (Приазовье), относящихся к габбро-верлитовой формации, с которой, как известно, связан ряд месторождений печенгского типа [8].

Требуют дальнейшего изучения ультрамафит-мафитовые дифференциаты габбро-норитовой формации - перидотиты, нориты, троктолиты (Каменский и Юровский массивы), краевые части Коростенского и Корсунь-Новомиргородского плутонов, в пределах которых помимо известного  $Fe - Ti - P$  оруденения могут быть обнаружены сульфидные медно-никелевые руды типа месторождения Хомс в Норвегии [8]. В качестве потенциально рудоносной выступает также и перидотит-габбровая ассоциация в составе габбро-диорит-гранодиоритовой формации раннепротерозойского этапа протоактивизации (букинский тип интрузий). По геолого-структурным особенностям интрузии этого типа аналогичны диорит-габбровым телам, вмещающим медно-никелевые ( $Ni = 0.87\%$ ,  $Cu = 0.33\%$ ,  $Au = 0.1$  г/т) месторождения Шекердален в Норвегии [8].

Рассмотренный комплекс геолого-структурных, минералого-петрографических и геохимических признаков, положенный в основу типизации никеленосных объектов и связанных с ним медно-никелевых месторождений и выявленные закономерности их пространственного размещения, служат основой для более целенаправленного проведения поисково-оценочных работ на руды никеля в южных и центральных районах Восточно-Европейской платформы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Вревский А.Б. Коматиты из раннекембрийского пояса Полмос-Порос (Кольский полуостров) // Докл. АН СССР. 1980. Т. 252. С. 1216-1219.
2. Злобенко И.Ф., Каневский А.Я., Металиди С.В. и др. Коматиты среднего Побужья (Украинский щит) // Сов. Геол. 1983. № 9. С. 103-108.
3. Золотухин В.В., Чернышов Н.М., Молотков С.П. Об одном перспективном типе никеленосных интрузивов // ДАН СССР. 1984. Т. 276, № 2. С. 442-445.
4. Касатов А.С., Немененок Т.И. Геолого-структурное положение, типы и минералогия руд Елкинского рудопоявления (ВКМ) // Геология рудных месторождений. 1986. № 4. С. 24-35.
5. Крестин Е.М. Первая находка коматитов в СССР // Докл. АН СССР. 1978. Т. 242, № 2. С. 412-415.
6. Крестин Е.М. Коматиты позднеархейских зеленокаменных поясов Воронежского кристаллического массива // Сов. геол. 1980. № 9. С. 84-97.
7. Которгин Н.Ф. Позднеархейские зеленокаменные образования мегаблока КМА // Геология и рудоносность докембрия Воронежского кристаллического массива. М., 1984. С. 26-33.
8. Медно-никелевые месторождения Балтийского щита / Под ред. Г.И. Горбунова, Х. Папунена. Л., 1985. 329 с.
9. Семеновко Н.П., Бойко В.Л., Бордунов И.Н. и др. Ультрабазитовые формации центральной части Украинского щита. Киев, 1979. 424 с.
10. Суслова С.Н. Коматиты из нижнекембрийских метаморфизованных вулканогенных толщ Кольского полуострова // Докл. АН СССР. 1976. Т. 228, № 3. С. 697-700.
11. Усенко И.С. Основные и ультраосновные горные породы Западного Приазовья. Киев, 1960. 179 с.
12. Фомин А.Б. Геохимия гипербазитов Украинского щита. Киев, 1984. 232 с.
13. Чернышов Н.М. Типы никеленосных интрузий и медно-никелевого оруденения Воронежского массива // Сов. геол. 1986. № 12. С. 42-54.
14. Чернышов Н.М., Бочаров В.Л., Фомин А.Б. Никеленосная габбро-норит-гипербазитовая формация

Украинского щита и Воронежского массива // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1979. № 3. С. 19-30.

15. Чернышов Н.М., Усенко И.С., Богачев А.И. и др. Базит-гипербазитовые интрузивные комплексы нижнего докембрия Восточно-Европейской платформы и их рудоносность // Геология, петрология и металлогения кристаллических образований Восточно-Европейской платформы. Т. 2. М., 1976. С. 95-104.

16. Arndt N., Naldrett A., Purne D. Komatite and ironrich tholeitic lavas of Munro Township, Northeast Ontario // J. Petrol. 1977. V. 18, N 2. P. 319-369.

17. Viljoen M., Viljoen R. Evidence for the existence of a mobile extrusive peridotite magma from the Komati Formation of the Onverwacht, Group // Upper Mantle Project. Geol. Sos. South Africa. Spec. publ. 1969. N 2. P. 87-112.

18. Naldrett A., Turner A. The geology and petrogenesis of a greenstone belt and related nickel sulfide mineralization of Yakkabandi, Western Australia // Precamb. Res. 1977. Vol. 5, N 1. P. 43-103.

Н.М. Чернышов

#### ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА И МОДЕЛИ ПОИСКОВО-ОЦЕНОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ ПРИ ИХ ПРОГНОЗЕ В УСЛОВИЯХ ПОГРЕБЕННОГО ФУНДАМЕНТА

Типы никеленосных интрузий и общие закономерности размещения месторождений. Сульфидные медно-никелевые и существенно никелевые месторождения Воронежского кристаллического массива (ВКМ) связаны с дунит-перидотит-габбро-норитовой формацией раннепротерозойского этапа стабилизации Восточно-Европейской платформы. В соответствии со структурно-вещественными принципами классификации никеленосных объектов [1, 4, 9] в составе этой формации, широко развитой в Восточно-Воронежском эпикратонном прогибе, выделяется несколько групп интрузивных тел, формирующихся на рубеже 2 млрд. лет [9] и различающихся по составу, степени дифференцированности и рудоносности: 1) автономные ультрамафитовые недифференцированные повышенной магнезиальности ( $MgO > 30\%$ ), безрудные; 2) существенно ультрамафитовые умеренной ( $12 < MgO \leq 30\%$ ) магнезиальности (мамонский тип) рудоносные (Нижнемамонское, Подколдновское месторождения и многочисленные рудопрооявления); 3) расслоенные

существенно мафитовые умеренно ( $8 < MgO \leq 30\%$ ) магнезиальные плутоны ширяевского типа с сульфидным медно-никелевым оруденением в ультрамафитовых дифференциатах (Ширяевское, Пионерское рудопрооявления); 4) многофазные сложнотифференцированные ультрамафит-мафитовые умеренно ( $12 < MgO \leq 30\%$ ) магнезиальные плутоны еланского типа с сульфидным медно-никелевым оруденением в ранних ультрамафитах (Абрамовское, Вязовское рудопрооявления) и ортопироксенитах (Центральное рудопрооявление) и существенно никелевыми рудами в норит-диоритовых субвулканических и дайковых телах (Еланское, Елкинское, Троицкое, Новопокровское и другие рудопрооявления), сопряженных с крупными плутонами и образующих по существу самостоятельную группу никеленосных интрузий типа Садбери [7-9]; 5) недифференцированные безрудные габбро-норитовые и габбро-диоритовые ( $MgO < 8\%$ ) интрузивы.

Никеленосные интрузии концентрируются в сравнительно узких (15-30 км), но достаточно протяженных (до 200-300 км) северо-западных ( $S340-350^\circ$ ) в разной мере эродированных поясах, среди которых выделяются: 1) западный - Лосевско-Мамонский существенно ультрамафитовых автономных и дифференцированных интрузий мамонского типа; 2) центральный - Ширяевско-Озерковский существенно дифференцированных (расслоенных) плутонов ширяевского типа; 3) восточный - Елань-Эртильский сложнотифференцированных ультрамафит-мафитовых плутонов еланского типа и сопряженных с ними норит-диоритовых тел субвулканической и дайковой фаций. В восточно-северо-восточной части Елань-Эртильского пояса, представляющего собой глубокоэродированную рифтогенную зону, широко развиты также габбро-диоритовые интрузии протерозойской трапповой формации. Несколько обособленное положение занимает менее значительный по протяженности (до 70-100 км) Аннинский глубокоэродированный пояс, в пределах которого развиты существенно ультрамафитовые интрузии мамонского типа с хромитовым и сульфидным медно-никелевым оруденением, мафитовые тела ширяевского типа и нориты. В пределах всех поясов, а также в поперечных по соотношению к ним северо-восточных тектонических зонах в различных количествах присутствуют недифференцированные безрудные габбро-норитовые и габбро-диоритовые интрузии.

Геолого-генетические типы месторождений. Наиболее важные в промышленном отношении сульфидные медно-никелевые месторождения ВКМ, ассоциирующие с раннепротерозойской дунит-перидотит-габбро-норитовой формацией принадлежит [3, 6, 8] к двум геолого-генетическим типам: медно-никелевым в ультрамафитах (мамонский тип) и существенно никелевым в норитах (еланский тип).

Месторождения и рудопрооявления мамонского типа характеризуются строгой приуроченностью к наиболее обогащенным оливиновым ультраосновным породам дифференцированных умеренномагнезиальных существенно ультрамафитовых тел (Нижнемамонское, Подколдновское, Юбилейное, Садовское и др.) и ультрамафит-мафитовых плутонов (Пионерское, Ширяевское, Вязовское рудопрооявления). Копи-

чественно преобладающие в них вкрапленные и прожилково-вкрапленные сульфидные медно-никелевые ( $1 < Ni/Cu \leq 10$ ;  $10 < Ni/Co \leq 20$ ;  $Pd/Pt = 1.5-3$ ;  $\delta^{34}S = 0.37 \pm 0.38\%$ ) руды образуют согласные с элементами внутренней структуры интрузивов линзо- и пластообразные рудные залежи или серии сближенных рудных тел. Минеральный состав руд этого типа месторождений отличается количественно преобладающей (90-95% объема рудной массы) ролью пирротина, халькопирита, пентландита и отчасти хромшпинелидов и магнетита; другие минералы (кубанит, маккинавит, валпериит, кобальтин, никелин, герсдорфит, молибденит, сфалерит, графит, миллерит, точилит, виоларит, бравоит) встречаются крайне редко. По генетическим особенностям сульфидные медно-никелевые месторождения мамонского типа принадлежат к классу собственно магматических, позднее несколько метаморфизованных [6].

Для сульфидных никелевых месторождений и рудопоявлений в норитах (Еланское, Елкинское, Троицкое, Новопокровское) характерно [3, 8, 9] пространственное совмещение в пределах единой рудной зоны (столба) структурно-текстурных неоднородных (тонковкрапленных, гнездовых, массивных, брекчиевидных) руд, наследующих крутопадающий характер залегания сульфидоносных норитовых тел (магматических колонн). При ведущей количественной роли никелистого ( $Ni$  до 4.3%) пирротина и крайне ограниченном распространении халькопирита (3-5, иногда до 10% объема) руды еланского типа отличаются высоким содержанием малокобальтистого ( $Co = 0.3-1\%$ ) пентландита (до 30-50%), широким развитием арсенидов и сульфоарсенидов никеля и кобальта, молибденита, высокохромистых цинкодержащих хромшпинелидов, графита, а также золота, аргентопентландита. Руды этого типа, отличающиеся тесным пространственным совмещением раннего пентландит-пирротинового ( $\pm$  халькопирит) и более позднего кобальт-никелевого арсенид-сульфоарсенидного ( $\pm$  молибденит, аргентопентландит, ульманит, золото и др.) парагенезисов, принадлежат к маломедистым с повышенным содержанием кобальта ( $10 < Ni/Cu \leq 100$ ;  $8 < Ni/Co \leq 20$ ;  $Pd/Pt = 1.5-2.5$ ) и значительно обогащены „коровыми“ элементами ( $Mo$ ,  $Au$ ,  $Ag$ ,  $Bi$ ,  $Sn$ ,  $As$ ,  $Sb$  и др.) и изотопно легкой серой ( $\delta^{34}S = -0.3 \pm -11.5\%$ ).

По ряду минералого-геохимических признаков сульфидные никелевые руды в норитах выделены в особый ранее не известный в СССР регенерированный тип месторождений - тип Садбери [2, 8, 9]. Важно подчеркнуть, что присутствующие совместно с пентландит-пирротинным ( $\pm$  халькопирит) парагенезисом арсениды и сульфоарсениды никеля и кобальта, молибденит, золото и другие типичные для высокотемпературных постагматических процессов минералы, а также околорудные изменения (амфиболизация, биотитизация, полевшпатизация и др.) представляют собой по существу конечные продукты того же флюидонасыщенного сульфидного расплава, прошедшего эволюцию, трансформируясь на заключительных стадиях в пневматоцитогидротермальные растворы. Высокая подвижность подобной флюидно-сульфидной системы не исключают возможности

появления рудных залежей с высоким содержанием арсенидов и сульфоарсенидов никеля и кобальта и сопутствующих им других минералов, т.е. возникновению руд, подобных мартовскому типу [6].

Особое положение занимают руды в ортопироксенитах Центрального рудопоявления, располагающегося непосредственно в пределах Еланского плутона [2, 8]. По петролого-геохимическому облику ортопироксениты аналогичны меланократовым разновидностям норитов, с которыми они образуют, вероятно, единую ортопироксенит-норитовую породную группу субвулканической и дайковой фаций. Согласные с элементами внутреннего строения крутопадающих пироксенитовых тел рудные залежи ассоциируют с мелкозернистыми ортопироксенитами и характеризуются сложной морфологией, значительной структурно-текстурной изменчивостью, незакономерным чередованием и постепенными переходами вкрапленных, гнездово-вкрапленных, шпироподобных, иногда массивных руд. Количественно преобладающие вкрапленные руды являются медно-никелевыми ( $Ni/Cu > 2-3$ ;  $\delta^{34}S = -1.1 \pm -3.7\%$ ), халькопирит-пентландит-пирротинными; более ограниченно развитые шпировидные и массивные принадлежат к существенно никелевым, маломедистым ( $Ni/Cu > 10$ ;  $\delta^{34}S = -2 \pm -5.2\%$ ); в них значительно возрастает роль арсенидов и сульфоарсенидов никеля и кобальта, постоянно отмечаются молибденит, золото, графит. Подобная неоднородность их минералого-геохимического облика отражает, вероятно, более сложные и пока мало исследованные условия их формирования за счет различных источников.

Модели поисково-оценочных комплексов крупномасштабного и локального прогноза. Тесная пространственно-генетическая связь сульфидных медно-никелевых месторождений с определенными типами интрузий рудоносной дунит-перидотит-габбро-норитовой формации ВКМ является методологической основой разработки поисково-оценочных комплексов рудных полей и поисковых участков для целей крупномасштабного и локального прогноза в условиях повсеместно погребенного фундамента.

Определяющими элементами поисково-оценочного комплекса при прогнозе медно-никелевых месторождений мамонского типа являются: 1) пространственно-генетическая связь с дифференцированными ультрамафитовыми интрузиями и ультрамафит-мафитовыми плутонами, характеризующимися наиболее полным рядом сингенетически родственных пород (дуниты-перидотиты-пироксениты-оливиновые габбро-нориты-нориты), 2) интенсивные (300-800 г) магнитные и слабой интенсивности гравитационные (положительные) аномалии; наличие аномальных зон поляризуемости пород, совпадающие по площади с гравитационными и участками рудной минерализации. Петролого-геохимический облик промышленно-рудоносных интрузий определяется [4, 6, 7, 9] умеренной магнезиальностью ( $MgO \leq 30\%$ ) и сравнительно высокой железистостью ( $\sum FeO = 10-14\%$ ), невысокими количествами  $Cr_2O_3$  (0.2-0.3%),  $TiO_2$  (0.2-0.5) и щелочей (0.2-2.0%), повышенными содержаниями серы (0.3-0.5%) с близким к метеоритному изотопным составом; преобладанием палладия

над платиной, постоянным присутствием аномальных содержаний  $Ni > (0.03)$ ,  $Co > (0.006)$ ,  $Cu > (0.03)$  при контрастности аномалий этих элементов не менее трех; четким обособлением рудообразующих ( $Ni - Co - Cu - Fe$ ) ассоциаций от породообразующих элементов; умеренной железистостью оливина ( $F_{O} = 14-32\%$ ) и ортопироксена ( $F_{S} = 17-33\%$ ); широким развитием в составе хромшпинелид-сульфидно-магнетитовом типе акцессорной минеральной ассоциации пирротина, халькопирита, пентландита; преимущественным развитием автотасоматической лизардитизации.

В качестве основных элементов типовой модели поисково-оценочного комплекса при прогнозе месторождений сульфидных никелевых руд еланского типа в норит-диоритовых массивах выступают [3,4, 7-9]: 1) тесная пространственно-временная и генетическая сопряженность сульфидоносных норит-диоритовых тел субвулканической и дайковой фаций с крупными ультрамафит-мафитовыми плутонами; 2) локальный слабодифференцированный характер пространственно совмещенных гравитационных аномалий средних значений и положительных низкой интенсивности (до  $40-100 \gamma$ ) магнитных аномалий над норитами; диориты, слагающие нередко центральные части норит-диоритовых тел, отожествляются с участками гравитационных минимумов; рудные зоны в норитах фиксируются при высокой наземной магнитометрии локальными слабоинтенсивными ( $30-70 \gamma$ ) положительными магнитными аномалиями, конформными с контактами интрузивов во внутренних и краевых участках гравитационных максимумов; 3) широкое развитие и неупорядоченное чередование мелано-, мезо- и лейкократовых мелко-, среднезернистых порфировидных кварц-биотитовых разностей норитов и значительная текстурно-структурная их неоднородность, присущая субвулканическим образованиям, постоянные наличие глубинных высокомагнезиальных ксенолитов архейского гранито-зеленокаменного основания и мафит-ультрамафитовых пород (в том числе оруденелых) плутонов, частое пространственное совмещение рудных зон в норитах и даек диоритов; 4) высокая степень кристалломорфологической неоднородности породообразующих минералов, постоянное присутствие в ортопироксене ( $F_{S} = 10-30\%$ ) хрома и цинка, крайне ограниченное развитие клинопироксена; повышенные концентрации высокохромистых цинксодержащих хромшпинелидов [5], присущих бонинитовым и коматиитовым сериям, а также графита; присутствие пирротина, пентландита и никель-кобальтовых арсенидов и сульфидарсенидов, молибденита, муассанита в составе акцессорной минеральной ассоциации; 5) повышенная магнезиальность ( $6 < MgO < 20\%$ ), щелочность и общая железистость ( $\Sigma FeO = 8-10\%$ ), высокие отношения рудообразующих элементов ( $3 < Ni/Cu \leq 50$ ;  $15 < Ni/Co < 30$ ), заметное обогащение цинком ( $70 < Zn < 90$  г/т), устойчивая ассоциация и высокий уровень корреляционных связей  $Fe, Ni, Co, Cu$ ; постоянное присутствие  $Mo, Ag, Bi, Sn, As, Sb$  и др., высокие содержания изотопно облегченной серы ( $0.1 < S < 0.7\%$ ;  $-0.5 \delta^{34}S < -5.5\%$ ).

Модели поисково-оценочных комплексов, выступающие в качест-

ве прогнозных и поисковых критериев и реализуемые при проектировании и проведении поисковых и поисково-оценочных работ, обеспечивают выбор наиболее перспективных на руды мамонского и еланского типов площадей и оптимальных методов их обнаружения на различных стадиях геологоразведочного процесса. Важно при этом отметить, что в условиях ВКМ, повсеместно погребенного мощным (до 350 м) чехлом платформенных отложений, особое значение приобретают предшествующие стадии поисков работы: изучение площадей глубинным геологическим картированием (ГК, м-б 1:200 000) в комплексе с площадными геохимическими поисками и детальными гравитационными съемками на потенциально перспективных ультрамафитовых и норит-диоритовых интрузивах; проведение профильных электроразведочных работ методами ВП, ВЭЗ, ЗСТ на потенциально рудоносных ультрамафит-мафитовых телах.

На поисковой и последующей поисково-оценочной стадиях, предполагающих широкое использование моделей поисково-оценочных комплексов для обоснования перспективных участков, выявления рудных зон и закономерностей размещения оруденения, установления морфологии и внутреннего строения рудных тел, состава и качества руд оптимальными методами геологоразведочного процесса являются: бурение наклонно-направленных (до 650-700 м) и более глубоких (до 1200-1400 м) опорных (на выявленных рудопроявлениях) скважин, высокоточные магнитометрические и гравитационные съемки (1:10 000) с электроразведочными работами методами ЗСТ и ВП (в наземных и скважинных вариантах), трехкомпонентный магнитный каротаж, РВП и др.

Последовательное осуществление геологоразведочных работ на основе выявленных закономерностей размещения сульфидного медно-никелевого оруденения и разработанных моделей поисково-оценочных комплексов позволит увеличить ресурсы никеля в пределах ВКМ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Годлевский М.Н., Лихачев А.П., Кочнев-Первухов В.И. и др. О принципах прогнозирования медно-никелевых месторождений // Проблемы петрологии базитов в связи с сульфидным медно-никелевым рудообразованием. М., 1981. С. 158-163.
2. Золотухин В.В., Чернышов Н.М., Молотков С.П. Об одном перспективном типе никеленосных интрузивов // ДАН СССР. 1984. Т. 276, № 2. С. 442-445.
3. Касатов А.С., Немененок Т.И. Геологическое положение, типы и минералогия руд Елкинского рудопроявления (ВКМ) // Геология рудных месторождений. 1986. № 4. С. 24-35.
4. Молотков С.П. Основы прогноза сульфидного никелевого оруденения на востоке Воронежского кристаллического массива // Тез. докл. Второго всесоюз. совещ.: Генетические моде-

ли эндогенных рудных формаций. Т. 3. Новосибирск, 1985. С. 160–162.

5. П л а к с е н к о А.Н., Ф р о л о в С.М. К проблеме генезиса никеленосных норитов Еланского дифференцированного плутона (по данным изучения аксессуарных хромшпинелидов) // Докл. Всесоюз. симпоз.: Формационное расчленение, генезис и металлогения ультрабазитов. Свердловск, 1985. С. 128–129.

6. Ч е р н ы ш о в Н.М. Сульфидные медно-никелевые месторождения юго-восточной части Воронежского кристаллического массива. Воронеж, 1971. 312 с.

7. Ч е р н ы ш о в Н.М., Б о ч а р о в В.Л., М о л о т к о в С.П. Генетическая модель сульфидного медно-никелевого рудообразования Воронежского кристаллического массива // Генетические модели эндогенных рудных формаций. Т. 1. Новосибирск, 1983. С. 77–84.

8. Ч е р н ы ш о в Н.М. Новый тип сульфидного никелевого оруденения Воронежского кристаллического массива // Геология рудных месторождений. 1985. № 3. С. 34–45.

9. Ч е р н ы ш о в Н.М. Типы никеленосных интрузий и медно-никелевого оруденения Воронежского массива // Сов. геология. 1986. № 12. С. 42–54.

Ю.Н. Л а з а р е н к о, В.В. К о м о в а,  
П.П. Д е й н е г а, В.Л. Г о н ч а р о в

#### ПЕРСПЕКТИВЫ ПОИСКОВ СУЛЬФИДНЫХ НИКЕЛЕВЫХ РУД В СРЕДНЕМ ПРИДНЕПРОВЬЕ

Крупные докембрийские месторождения богатых сульфидных медно-никелевых руд пространственно и генетически связаны с дифференцированными интрузиями основных-ультраосновных пород перидотит-дунитового состава, развитыми в зеленокаменных поясах древних докембрийских щитов (Австралийском, Канадском, Африканском и др.). В пределах Украинского щита также известны аналогичные образования. На территории Среднего Приднепровья выявлено более 140 массивов основных-ультраосновных пород, причем 20 из них имеют площадь свыше 1 км<sup>2</sup>.

В геологическом строении Среднего Приднепровья принимает участие сложный комплекс метаморфизованных осадочно-вулканогенных пород докембрия с развитой на нем почти повсеместно мощной корой выветривания и толщей осадочных образований палеогеновой, неогеновой и четвертичной систем.

Согласно схеме тектонического строения Среднего Приднепровья в его центральной части выделяется крупный, сложно построенный геотектонический элемент – Днепровский блок (юго-восточная часть Украинского щита), который представляет собой древний массив, прошедший стадию консолидации в архейский период. Основными

тектоническими структурами кристаллического фундамента являются сводовые поднятия гранитоидов и обрамляющие их мобильные зоны. В Среднеприднепровской гранито-зеленокаменной области известен целый ряд зеленокаменных структур (Верховцевская, Сурская, Дерезоватская, Чертомлыкская, Конкская, Белозерская). Наибольший интерес в отношении сульфидно-никелевого оруденения представляют Верховцевская и Сурская. Длина этих структур по простиранию достигает 40–60 км, ширина варьирует от 10 до 16 км, окаймляются гранитоидами днепропетровского и сурско-токовского комплексов, представленных плагиогранитами, мигматитами, плагиогнейсами.

В пределах Днепровского блока широко развиты породы аподунит-перидотитового и апогаббро-базальтового состава. Первые – это преимущественно интрузии, вторые вместе с апоэффузивной фацией занимают крупные (300–400 км<sup>2</sup>) впадины фундамента; в их пределах предполагается наличие коматиит-базальтового типа магм.

Геолого-структурная позиция основных-ультраосновных интрузивов определяется приуроченностью основных пород к зонам региональных глубинных разломов (Девладовский, Центрально-Верховцевский, Петровский и др.), ультраосновных – к окраинам зеленокаменных впадин, где устанавливается их пологосекущее залегание относительно напластования вулканических пород. В некоторых из массивов (Алферовский, Правдинский) отмечаются слабо дифференцированные образования пород. Ультрабазиты значительно метаморфизованы с широким развитием тремолититов, тальк-карбонатных пород и серпентинитов в ядерных частях массивов. Пространственно и генетически с ультрабазитами связаны рудопроявления и зоны минерализации сульфидов никеля.

Геофизическими работами и бурением под почти стометровым покровом осадков кайнозоя в пяти наиболее крупных интрузиях, сложенных серпентинизированными дунит-перидотитами, серпентинитами и тальк-серпентин-карбонатными породами, установлена сульфидно-никелевая минерализация.

О потенциальной никеленосности массивов свидетельствуют повышенные (>0.2%) средние содержания никеля в составляющих их породах, причем среднее содержание никеля в метаморфизованных ультраосновных разновидностях меняется в зависимости от петрохимического состава исходной породы. Так, среднее содержание никеля в серпентинитах по дунит-перидотитам Варваровского массива составляет 0.3%, а в серпентинитах по габбро-перидотитам Алферовского массива 0.17%. В тальк-карбонатных породах (углекислотный метасоматоз) содержания никеля уменьшаются за счет перераспределения его и частичного выноса и для Варваровского массива составляют 0.24%, для Алферовского – 0.11%.

К прямым поисковым признакам промышленной рудоносности ультрабазитов Днепровского блока относится наличие сближенных линзовидных тел сплошных пентландит-бравонитовых руд Правдинской интрузии, никелиновые жилы Варваровской интрузии.

По мнению ряда исследователей (А.Б. Фомин, А.А. Сиворонов, А.Б. Бобров), образования коматиит-базальтовой формации также

развиты на Украинском щите, в Среднем Приднепровье. Однако ее присутствие однозначно не доказано, и вопрос о том, можно ли рассматривать коматииты в качестве перспективных объектов или зон, сопровождающих обогащенные рудными минералами ультраосновные породы, нуждается в дополнительных исследованиях.

Кроме проявлений сульфидно-никелевой минерализации ряд аподинитовых интрузий Днепровского блока под кайнозойским осадочным покровом содержат линейные и линейно-площадные никеленосные коры выветривания с промышленной концентрацией металла в хлорит-нонtronитовых и кремнистых охрах. В Среднем Приднепровье известно семь месторождений никелевых руд, связанных с древней корой выветривания серпентинитов (Девладово, Новое, Терновское, Красный Яр, Карнауховское, Слевгородское, Сухохуторское).

К платформенному этапу образования относятся основные-ультраосновные породы габбро-перидотитовой формации Девладовской зоны разломов: Девладовская, Красноярская, Терновская, Гуляйпольская и субширотные крутопадающие (70–90°) дайки, с которыми связаны месторождения силикатных никелевых руд. Дайки занимают полосу шириной до 20 км и простираются на 60 км от Криворожско-Кременчугской зоны на западе до р. Днепр на востоке.

Девладовская интрузия (дайка 9,7 x 0,3 км), залегающая резко несогласно с вмещающими мигматитами, сложена перидотитами, габбро-перидотитами, пироксенитами, актинолит-тремопитовыми породами. Вблизи интрузии развиты диабазы. Ультрабазиты с прожилками карбонатов, серпентина, магнетита содержат прожилково-вкрапленную, гнездовую сульфидную минерализацию, представленную пирротином, халькопиритом, пентландитом, пиритом. Выделено четыре залежи силикатных никелевых руд, из них наиболее крупными являются первая и четвертая. Для первой залежи характерно относительно высокое содержание никеля (до 1,25%) при содержании Fe (22,8%), Co (0,04%). В корях выветривания западной части дайки выделены интервалы с повышенным содержанием никеля (2,04–6,32%).

Полным аналогом является Красноярская интрузия (дайка), расположенная в северной части Девладовской зоны разлома. В корях выветривания, развитых по дайке, также выделены интервалы с повышенными содержаниями никеля от 2,0 до 3,73%.

Такие высокие содержания никеля не характерны для кор выветривания Среднего Приднепровья, где значения его обычно не превышают 1%, в единичных случаях 2% (среднее из 50 проб), что может быть связано с литогеохимическими аномалиями коренных сульфидно-никелевых руд, залегающих на глубине. Поэтому высокие концентрации никеля в нижних зонах коры выветривания, вскрытые значительным количеством скважин, особенно в приконтактных участках, наличие крупных тектонических нарушений, ассоциаций минералов, характерных для никеленосных интрузий, могут служить поисковыми критериями наличия сульфидно-никелевого оруденения на глубине; это позволяет относить ультрабазиты субплатформенной габбро-норит-гипербазитовой формации (девла-

довский комплекс) предположительно к перспективным на выявление в них сульфидно-никелевого оруденения.

К наиболее перспективным в пределах Верховцевской структуры отнесены три массива – Варваровский, Алферовский, Кудашевский и в пределах Сурской структуры – Правдинский массив.

Варваровский массив располагается в центральной части Верховцевской структуры. Общая площадь его 5 км<sup>2</sup>, протяженность 6 км и ширина 0,5–1 км. Массив расположен субсогласно с вмещающими породами. Центральная часть сложена аподинитовыми серпентинитами, по периферии развиты тальк-карбонатные, карбонат-хлорит-тальковые и тальк-хлорит-карбонатные породы. Никеленосность массива изучена слабо. На границе его с амфиболитами среди переслаивания аподинитов, апонеридотитов, пироксенитов, метабазитов и железисто-кремнистых прослоев локализуется вкрапленно-прожилковое кобальт-медное оруденение, прослеженное по простиранию на несколько сотен метров и представленное ассоциацией халькопирита, кобальтпирита и кобальтина. Содержание меди по интервалам опробования колеблется от 0,38 до 4,35%, кобальта – от 0,01 до 0,5%. Мощности этих зон варьируют от 0,4 до 9,5 м.

Никелевая минерализация выявлена в западной части массива (Западно-Варваровское рудопроявление), ближе к висячему контакту в карбонатизированных и оталькованных серпентинитах и представлена разобщенными гнездово-прожилковыми скоплениями сульфидов никеля мощностью 0,3–0,6 м (по скважинам) с содержанием металла 0,5–1,5%. Обнаружено несколько сблизженных гнездово-прожилковых обособлений сульфидов. По простиранию зона прослежена скважинами на 150 м. Наиболее распространенными сульфидными минералами являются никелин, милперит, пентландит, который постоянно встречается в виде пластинчатых выделений в пирротине, пирит.

К западному контакту массива с осадочно-вулканогенными образованиями, к зонам повышенной трещиноватости приурочена также мощная зона As-Ni оруденения с ассоциацией герсдорфита, никелина, халькопирита, пирита, арсенопирита и др. Содержание никеля в этих зонах достигают 1,66%. В этой связи рудопроявления Варваровского массива относятся к комплексным Co-Ni-Cu рудам.

Алферовский массив приурочен к северо-западной части Верховцевского пояса ультраосновных пород. Длина его 8 км, ширина в центральной части 2 км. С севера массив граничит с зелеными сланцами белозерской свиты, представленными туффосланцами и метапесчаниками кислого состава и породами железисто-кремнистой формации, с юга в лежащем боку массива – амфиболиты нижнеконкской подсвиты.

Массив представляет собой слабодифференцированную интрузию, сложенную производными габбро-перидотитовой формации (снизу вверх): серпентинитами, тальк-карбонатными породами и актинолититами; выше залегают амфиболитизированные измененные габбро-нориты, амфиболиты, актинолититы; последние сменяются фибро-

бластовыми актинопититами, которые по петрохимическим характеристикам можно отнести к пикритам с рассеянной вкрапленностью сульфидов никеля.

Сульфидное медно-никелевое оруденение концентрируется в тектонической зоне окварцевания и амфиболитизации в лежащем боку апокритовых пород. Общая мощность зоны оруденения 250–300 м. В одном из скважинных пересечений определено 0,6% Ni на мощность 0,7 м. Наиболее обогащенные никелем участки наблюдаются в сильно измененных ультраосновных породах (типа лиственитов). Сульфидная минерализация представлена в основном пирротинном, халькопиритом, пиритом.

Кудашевский массив расположен в южной части Верховцевской структуры. Протяженность его 9 км при ширине до 2 км. Массив, вытянутый субсогласно вмещающим породам, с севера и востока граничит по тектоническим нарушениям с гранитоидами, с юга – с породами конкско-верховцевской серии. По составу исходных пород массив отнесен к пироксенит-дунит-перидотитовой формации и представлен аподунитовыми, апоперидотитовыми и апопироксенитовыми серпентинитами. В приконтактных частях массива отмечается редкая рассеянная вкрапленность сульфидов никеля. Выделены два рудопоявления с содержанием никеля 0,4–0,5%. На восточной окраине Кудашевского массива в зоне контакта с кислыми породами в коре выветривания отмечается высокое содержание никеля (до 3,6–6,09%) в интервалах до 1,5 м. На перспективных участках рекомендуется провести поисковое бурение скважинами глубиной до 500 м.

Правдинский массив располагается в западной части Сурской структуры. Сульфидная минерализация отмечается вдоль всей юго-западной полосы ультрабазитов. Сульфидно-никелевое оруденение в Правдинском массиве приурочено к зонам карбонатизации, оталькования, смятия, брекчирования и повышенной трещиноватости ультрабазитов, а также иногда к их контакту с гранитоидами; пространственно тяготеет к зоне Правдинского разлома. Три наиболее крупных рудопоявления встречены в восточной части Правдинского массива. Более детально опробовано рудопоявление в северо-восточной части массива в тапк-карбонатных породах. Промышленное содержание никеля – от десятых долей до 1–4% – прослежено по падению до 100 м, в отдельных пробах – до 12,48%. Наряду с никелевыми оруденением в массиве выделяются зоны мощностью 0,2–2,9 м с содержанием меди 0,5–2,2%. Минералогический состав руд преимущественно пентландит-бравойт-халькопиритовый.

Нами проведено сравнение закономерностей размещения никелевого оруденения в Среднем Приднепровье с рядом районов Советского Союза (Печенга, Аплареченское, Норильск) и Западной Австралии (Камбалда, Маунт-Кейт). Установлены система близких геологических признаков, характеризующих региональные, магматические, структурно-тектонические, минералогические закономерности размещения никеленосной минерализации, а также сходство гипергенных процессов.

В.К. Гребнев, К.В. Когут,  
С.В. Нечаев, В.С. Костюченко,  
В.В. Зюльцле, Н.К. Выходцев

#### ПРЕДПОСЫЛКИ ОБНАРУЖЕНИЯ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО ОРУДЕНЕНИЯ В СРЕДНЕМ ПОБУЖЬЕ (УКРАИНСКИЙ ЩИТ)

В Среднем Побужье (Голованевский синклиорий) широко развиты ультрабазиты и базиты. Они участвуют в строении Молдавской, Грушковской, Гарноватской, Кумарозской и других структур; Область их развития характеризуется повышенным полем силы тяжести, положительными аномалиями  $\Delta Z$ ,  $\Delta T$  и электроаномалиями, уменьшением мощности земной коры на 14–16 км и перепадами ее по Тальновскому и Первомайскому глубинным разломам, ограничивающим синклиорий.

Вмещающие породы представлены образованиями днестровско-бугской серии (амфиболиты, железистые кварциты, кальцифиты, различные по составу кристаллосланцы и гнейсы) и ультраметаморфическими гранитоидами подольского чарнокитового комплекса. Метаморфизм пород отвечает амфиболитовой и гранулитовой фациям.

Ультрабазиты и базиты образуют линзовидные и кольцеобразные эшелонированные тела северо-западного простирания протяженностью от первых сотен метров до 3–3,5 км и мощностью до 500–1000 м. Они контролируются Лозоватско-Кумаровским и Капитановско-Степковским разломами. Представлены дунитами, перидотитами, пироксенитами, габбро, норитами и др., повсеместно метаморфизованы и превращены в серпентиниты, горблендиты, габбро-амфиболиты, сохраняя лишь реликты первично-магматических структур и текстур.

Работниками ПГО „Севургеология“ и ИГФМ АН УССР установлено, что ультрабазиты и базиты Голованевского синклиория обладают рядом признаков, позволяющих отнести их к образованиям толеит-базальтовой и коматиит-базальтовой формаций. Для коматиитов характерно наличие разнообразных типов структуры спинифекс; в оливинах из перидотитовых коматиитов содержатся мельчайшие включения пентландита, свидетельствующие о процессах ликвации и обособления сульфидного расплава. Они имеют металлогеническую специализацию на никель, медь и кобальт, характеризуются повышенными значениями индикаторных геохимических отношений  $Ni/Cu = 35$ ,  $Cu/Co = 0.5$  и пониженными  $Ni/Co = 12$ ,  $Ti/Cr = 0.5$ . В породах с сульфидной минерализацией наблюдается корреляционная связь никеля с серой, а не с магнием.

Основную информацию о геотектонических и геохимических условиях вулканизма и связанной с ними рудной нагрузки несут данные о составе вулканогенных образований. Анализ вещественного состава и структурной локализации метавулканитов позволяет выделить толеит-базальтовую и коматиит-базальтовую формации вулканитов, в принципе не отличающиеся от формаций вулканитов Ю.А. Кузнецова [1], К.А. Шуркина и др. [2], В.Л. Масайтис и др. [3] и других исследователей.

© В.К. Гребнев, К.В. Когут, С.В. Нечаев, В.С. Костюченко,  
В.В. Зюльцле, Н.К. Выходцев, 1990

## Химический состав основных и ультраосновных пород Демоярской структуры (скв. 1016а)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	39.76	40.46	40.56	43.37	44.98	44.98	44.61	41.18	43.55	39.86
TiO <sub>2</sub>	0.31	0.23	0.36	0.40	0.50	0.41	0.41	0.35	0.51	0.36
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.28	4.67	5.85	6.85	6.08	7.33	7.28	6.98	5.73	7.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.61	4.96	5.98	5.04	2.50	6.00	4.15	7.12	8.10	8.03
FeO	4.57	5.15	8.32	5.64	8.86	5.15	7.00	5.43	8.29	8.32
MnO	0.37	0.15	0.31	0.26	0.45	0.14	0.14	0.31	0.62	0.82
MgO	31.80	30.07	29.52	23.04	14.07	18.73	22.08	23.60	21.33	22.89
CaO	3.10	4.09	2.20	7.57	11.89	8.84	8.15	7.04	5.77	5.17
Na <sub>2</sub> O	0.18	0.16	0.16	0.22	0.74	0.70	0.40	0.26	0.36	0.20
K <sub>2</sub> O	0.06	0.06	0.04	0.04	0.30	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.04	0.05	0.05	0.06	0.06	0.04	0.04	0.04	0.07
S	0.22	0.13	0.05	0.44	0.14	0.07	0.14	0.11	0.92	0.61
S <sub>сульф</sub>	0.28	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.15	1.39	1.20
CO <sub>2</sub>	0.40	0.40	0.34	0.48	4.03	0.46	2.60	1.15	0.87	0.36
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.24	0.18	0.18	0.50	0.38	0.24	0.01	0.28	0.35	0.16
NiO	0.50	0.43	0.28	0.23	0.17	0.30	0.20	0.28	0.20	0.43
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.29	0.21	0.26	0.69	0.28	1.64	0.25	0.53	0.39	0.25
П.п.п.	8.55	9.06	6.01	5.43	0.25	4.72	2.82	5.14	2.21	3.80
Сумма	100.56	100.46	100.48	100.26	100.69	99.88	100.39	100.05	100.54	100.43
F <sub>пор</sub>	14.9	15.4	21.0	20.3	31.5	24.3	21.6	22.4	29.9	28.6
b <sub>заб</sub>	57.06	55.71	56.93	49.71	42.60	45.93	48.58	51.70	50.53	52.16
K/Rb	125.0	250.0	160.0	160.0	1240.0	82.0	410.0	136.67	205.0	410.0

Т а б л и ц а (продолжение)

Компоненты	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
SiO <sub>2</sub>	44.65	36.46	46.06	49.01	47.48	43.73	50.70	46.68	47.36	47.79
TiO <sub>2</sub>	0.28	0.92	0.58	0.66	0.58	0.66	0.97	1.03	0.97	0.97
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.53	11.81	10.97	9.57	8.92	12.17	13.99	13.63	12.40	15.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.41	6.03	2.77	2.03	3.99	4.68	2.48	2.49	2.58	2.93
FeO	9.79	12.20	11.58	10.57	10.29	8.18	9.43	11.08	13.23	10.54
MnO	0.57	0.57	0.41	0.28	0.24	0.28	0.16	0.21	0.24	0.15
MgO	22.94	22.47	12.36	14.32	14.42	16.40	7.82	7.71	8.64	7.37
CaO	6.47	5.03	11.10	9.92	10.22	8.57	10.31	12.83	11.79	9.57
Na <sub>2</sub> O	0.42	0.30	1.10	1.30	1.00	0.40	2.12	1.50	1.20	2.60
K <sub>2</sub> O	0.10	0.10	0.36	0.18	0.30	0.10	0.22	0.18	0.14	0.32
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.04	0.14	0.13	0.06	0.08	0.08	0.08	0.10	0.12	0.10
S	0.37	0.67	0.29	0.12	0.27	0.23	0.08	0.10	0.22	0.10
S <sub>сульф</sub>	0.48	0.47	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
CO <sub>2</sub>	0.62	0.77	0.26	0.26	0.26	0.26	0.19	0.26	0.40	0.19
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.26	0.20	0.20	0.45	0.16	0.28	0.016	0.004	0.008	0.016
NiO	0.43	0.14	0.17	0.02	0.04	0.21	0.01	0.33	0.17	0.002
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.29	0.17	0.09	0.08	0.19	0.27	0.10	0.14	0.12	0.34
П.п.п.	2.84	2.06	1.79	1.40	1.47	3.30	1.45	2.17	0.86	1.83
Сумма	100.49	100.51	100.23	100.24	99.92	99.81	100.14	100.45	100.46	100.21
F <sub>пор</sub>	27.1	31.2	39.7	33.2	35.4	30.2	45.9	49.6	50.6	50.3
b <sub>заб</sub>	51.85	54.19	40.72	40.40	42.51	41.98	30.03	34.53	36.58	30.17
K/Rb	410.0	410.0	496.67	750.0	1240.0	410.0	910.0		290.0	1330.0

П р и м е ч а н и е. Анализы: 1-3 - перидотитовые коматиты (глуб.: 115.2, 137.8, 200.7 м); 4-12 - пироксенитовые коматиты (глуб. 175.0, 77.0, 86.4, 91.2, 102.2, 106.3, 147.5, 159.4, 191.6 м); 13-16 - базальтовые коматиты (глуб. 119.2, 171.0, 184.5, 199.3 м); 17-20 - толеитовые базальты (глуб. 39.0, 48.6, 69.2, 127.7 м).

В раннеархейский этап формировались слабо дифференцированные и примитивные по составу вулканиты толеит-базальтовой формации, которые являются основной частью разрезов днестровско-бугской серии. Их химизм имеет сходство с фанерозойскими океаническими базальтами. Дальнейшая эволюция земной коры обусловила формирование коматиит-базальтовой формации бугской серии. Образование этих вулканитов связано, по-видимому, с развитием рифтогенных зон океанического типа. Длительная эволюция земной коры, процессы регионального метаморфизма привели к тому, что в настоящее время мы наблюдаем фрагменты этих рифтогенных зон в виде Молдовской, Тарноватской, Кумаровской и ряда других структур, в разрезах которых метавулканиты присутствуют в виде эффузивной и интрузивной фаций. Эти метавулканиты, в частности толеитовые базальты начальных этапов, по особенностям химического состава сходны с базальтами срединно-океанических хребтов.

В пределах Голованевского блока развиты также образования хромитоносной гипербазитовой формации, которые в комплексе с коматиит-базальтовой нами, совместно с Э.Б. Наливкиной [4], А.Б. Фоминым [5] и другими исследователями, выделяются в офиолитовую ассоциацию океанического типа. Хромитоносные гипербазиты, очевидно, представляют собой аллохтон океанического дна.

Коматиитовая формация в пределах Среднего Побужья включает все разновидности этих вулканитов, а также гипербазиты габбро-перидотитовых интрузий – интрузивную фацию коматиитовой формации. По химическому составу вулканиты образуют компактную петрохимическую группу и характеризуются повышенным содержанием магния и низким щелочей. Железистость перидотитовых коматиитов составляет 14,3–21,7%. Пироксенитовые коматииты имеют повышенные содержания глинозема, железа и кальция; железистость их повышается до 17,5–30,0%. Особенностью базальтовых коматиитов является повышенное содержание магния (около 12% MgO) и сравнительно низкое глинозема и натрия. Железистость их колеблется от 36,0 до 45,6%. В качестве примера приведены химические составы метавулканитов Демовярской структуры (см. таблицу, разрез скв. 1016а). Гипербазиты габбро-перидотитовых интрузий отличаются от перидотитовых и пироксенитовых коматиитов более магниезальным составом. Особенности их химизма описаны А.Б. Фоминым [5, 6].

Распределение петрогенных элементов в разрезах отдельных потоков перидотитовых и пироксенитовых коматиитов подчиняется определенной закономерности: наиболее магниезальные эффузивы располагаются в нижних частях потоков. В разрезе Демовярской структуры отдельные потоки перидотитовых, пироксенитовых и базальтовых коматиитов несколько различаются по химическому составу, в частности – по изменению железистости. Отмеченное распределение петрогенных элементов в разрезах потоков коматиитов согласуется с данными Р. Барнеса и др. [7], исследовавших изменение химического состава потоков коматиитов района Клиффорд в Западной Австралии. Изменения в распределении петрогенных

элементов обусловили изменение содержаний элементов-примесей, в том числе никеля и серы. Повышение содержаний цинка, сульфидного никеля и сульфидной серы, отношений никель сульфидный/никель валовый и понижение содержаний меди фиксируются появлением в составе парагенезиса сульфидных минералов: повышенной никеленосности пирротина, зачастую со следами распада твердого раствора пентландита, миллерита и других сульфидов никеля, отмечаемых в месторождениях Канады и Западной Австралии. Повышение содержаний меди и серы валовой отражает слабую никеленосность пирротина в парагенезисе с сульфидами железа и меди, типичного для медноколчеданного типа оруденения.

Отмечается также обедненность пиринов и пирротинов коматиит-базальтовой формации тяжелым изотопом серы:  $\delta^{34}S$  из перидотитовых коматиитов варьирует от -2,8 до -6,8‰, из толеитовых базальтов до -7,1‰, что также характерно для коматиитов Австралии и Канады. В пироксенитовых коматиитах и кумулятивных дунитах содержания  $\delta^{34}S$  пиринов и пирротинов испытывают колебания в пределах от -2,5 до +5,0‰, что может быть связано как с процессами фракционирования, так и с метосоматическими процессами, являющимися неотъемлемой частью вулканической деятельности.

Рудоносные метасоматиты, перспективные на никель, были выявлены в 1986 г. в пределах Савранской разломной структуры северо-западного простирания. Эта структура расположена к западу от поля распространения мафит-ультрамафитов и довольно четко фиксируется линейными положительными магнитными аномалиями. В состав рудовмещающей толщи входят плагиогнейсы, кристаллосланцы, кальцифиры, рассланцованные амфиболиты, милониты и скарны. Переслаиваясь, они образуют пеструю по составу толщу. Мощность отдельных прослоев не превышает 3–4 м. По составу среди метасоматитов выделяются магниезальные и магниезально-железо-кальциевые, по минеральному составу породообразующих силикатов соответственно – сходные с преобразованными магниезальными и апомагниезальными известковыми скарнами.

Оруденение в метасоматитах представляет собой новый для района мышьяково-кобальт-никелевый тип с арсенидной минеральной ассоциацией при ведущей роли в ней никелина. Другие минералы, содержащие как никель, так и кобальт, в этой ассоциации представлены леплингитом, арсенипиритом, раммельсбергитом, герсдорфитом. Кроме них, участками в рудном интервале встречаются пирротин в ассоциации с пентландитом, пирит – с халькопиритом и виоларитом (?).

Содержание рудогенных элементов по разрезу крайне невыдержано. Это объясняется прежде всего литологическим контролем оруденения магниезальными и апомагниезальными известковыми скарнами. В остальных типах пород содержания никеля, кобальта и мышьяка, как правило, незначительны. В пределах метасоматической копонки наблюдается четкая положительная корреляция между содержаниями никеля, кобальта, сурьмы и хрома, причем на самом

СУЛЬФИДНО-НИКЕЛЕВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ  
В УЛЬТРАОСНОВНЫХ И ОСНОВНЫХ ПОРОДАХ  
БАЙКАЛО-ПАТОМСКОГО НАГОРЬЯ

В начале 60-х годов в Северном Прибайкалье были обнаружены Довыренский и Чайский плутоны ультраосновного и основного состава, несущие сульфидно-никелевую минерализацию. Всестороннее изучение этих плутонов многими исследователями [1, 2, 4-6] показало, что они образуют в этом районе единый формационный тип расслоенных ультрабазит-базитовых интрузий довыренского комплекса верхнепротерозойского возраста. Изучена также и выявленная в этих массивах сульфидная минерализация [13], которая явилась своеобразным репером для установления генетического родства подобных массивов. В северной части Байкальской горной области (Байкало-Патомское нагорье) встречается множество массивов, сложенных ультраосновными и основными породами (рис. 1). Выяснение формационной принадлежности таких образований данного региона позволит определить их металлогеническую специализацию.

К типу расслоенных интрузивов, судя по геолого-структурному положению, составу пород и рудной минерализации, в Байкало-Патомском нагорье относится еще ряд аналогичных массивов - Маринкин [10], Право-Мамский [3], Заоблачный и Исполниский [9, 11, 12]. В первых двух обнаружена и описана сульфидная минерализация, аналогичная встреченной в Довыренском и Чайском массивах.

Право-Мамский массив, судя по результатам геолого-съёмочных работ, занимает довольно большую площадь в районе слияния рр. Правой илевой Мамы, однако расслоенные породы ультраосновного и основного состава занимают лишь северную его часть и автономно залегают в виде небольших ксенолитов среди более поздних гранитов, в отдельных случаях контактируют с различными гнейсами и сланцами. Размеры этих тел не превышают 1,5 км<sup>2</sup>. Внутреннее строение их характеризуется перемежаемостью ультраосновных и основных пород. Соотношение первых и вторых равно примерно 1:2,5, что отличает данные тела от габбро-перидотитовых интрузивов Северного Прибайкалья, где эти соотношения близки к 1:10. Различия, по нашему мнению, объясняются разными уровнями эрозионного среза. В рассматриваемой части Право-Мамского массива выделяются дуниты и перлопиты, находящиеся в тесном взаимоотношении с пироксенитами, серпентинитами, горнблендитами, габбро и плагиоклазитами.

Дуниты характеризуются панидиморфнозернистой структурой, состоят почти на 98% из хризолита с примесью энстатита и хромшпинели. Перлопиты встречаются среди дунитов в виде небольших полос, имеют с ними постепенные взаимопереходы, сложены на 75-80% из хризолита, 10-15% бронзита и 5-10% диопсида; кроме того, отмечается примесь хромшпинели (1-2%). Пироксениты име-

нижнем участке с максимальными содержаниями рудных минералов эта корреляция переходит в почти функциональную зависимость. Это связано с максимальной степенью метасоматической переработки пород на данном интервале. На других участках разреза на эту зависимость накладывается первичная геохимическая специализация пород. Наблюдается закономерное повышение содержаний хрома в амфиболитах, не несущих оруденения. В рудной зоне повышенные содержания хрома (до 0,3%) связаны с присутствием в породе новообразованной шпинели. Последняя образует густую вкрапленность мелких зерен на участках развития никелина. Сурьма в небольших количествах присутствует в никелине, герсдорфите, арсенопирите и леплингите, и поэтому ее повышенные содержания фиксируются совместно с развитием этих минералов. Мышьяк, никель и кобальт входят в состав основной арсенидной минеральной ассоциации, причем отношение никеля к кобальту в рудной зоне находится в пределах 5-15, составляя в среднем 9,5; на других участках метасоматической колонки оно падает до 4-5 и ниже. Таким образом, отношение никеля к кобальту в зонах оруденения близко к нормальному отношению для ультраосновных пород.

Наблюдается также слабо выраженная отрицательная корреляция в содержаниях никеля и висмута. Висмут присутствует в весьма незначительных количествах и фиксируется лишь на безрудных (в основном подрудных) интервалах. В распределении остальных элементов (меди и др.) не обнаруживается какой-либо связи с оруденением.

Таким образом, перспективы поисков сульфидного медно-никелевого оруденения во фрагментах структур раннего докембрия на Побужье связаны как с коматиит-базальтовым магматизмом, так и с метасоматическим типом арсенидной специализации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю.А. Главные типы магматических формаций. М., 1964. 387 с.
2. Магматические формации раннего докембрия территории СССР. К.А. Шуркин, Д.П. Виноградов, Ф.П. Митрофанов и др. М., 1980. Т. 1. 285 с.; Т. 2. 265 с.; Т. 3. 311 с.
3. Магматические формации СССР. В.Л. Маскайтис, В.Н. Москалева, Н.А. Румянцева и др. Л., 1979. Т. 1. 318 с.; Т. 2. 279 с.
4. Наливкина Э.Б. Офиолитовые ассоциации раннего докембрия. М., 1977. 183 с.
5. Фомин А.Б. Геохимия гипербазитов Украинского щита. Киев, 1984. 220 с.
6. Фомин А.Б. Геохимия ультрабазитов юго-западной части Украинского щита. Киев, 1979. 226 с.
7. Barnes R.G., Lewis J.D., Gee R.D. Archean Ultramafic lavas from Mount Clifford // W. Austral. Geol. Surv. Ann. Rept. 1973. P. 59-69.

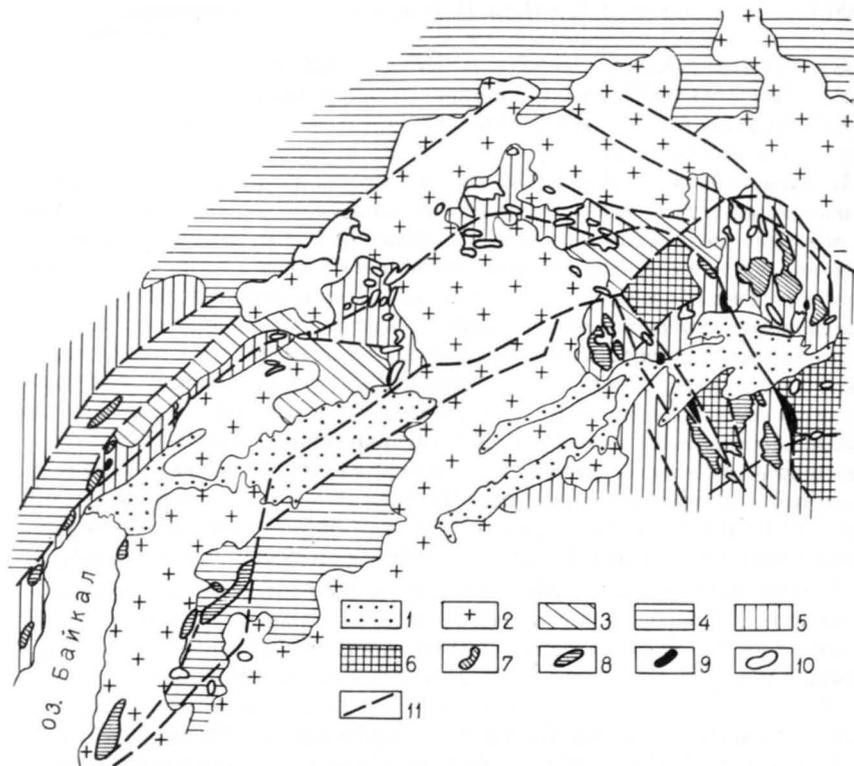


Рис. 1. Схематическая карта распространения ультрабазитовых, ультрабазит-базитовых и базитовых массивов Северного Прибайкалья и Байкало-Патомского нагорья.

1 - четвертичные отложения; 2 - поля распространения палеозойских гранитоидов; образования: 3 - венд-кембрийские, 4 - рифейские, 5 - нижнепротерозойские, 6 - архейские; массивы: 7 - габбро-перидотитовые, 8 - габброидные, 9 - гипербазитовые, 10 - невыясненной формационной принадлежности, 11 - разрывные нарушения.

ют весьма ограниченное распространение, встречаются в виде маломощных жил среди серпентинитов и состоят из диопсида, близкого к салиту. Наиболее распространены среди ультрабазитов серпентиниты, тяготеющие к зонам дробления или к приконтактовым частям с гранитоидами. В местах интенсивного дробления и смятия серпентинитов наблюдаются маломощные (2-3 м) зоны тальцитов.

Основные породы представлены главным образом эпидотизированными, цоизитизированными и сосюритизированными габброидами, в которых габбровая структура просматривается лишь в реликтах. Среди габброидов встречаются маломощные полосы плагиоклазитов, сложенных раскисленным плагиоклазом (№ 25) и новообразованиями биотита и кварца.

Окислы	Дуниты		Лерцопит	Габбро	Плагиоклазит
SiO <sub>2</sub>	36,92	35,94	36,68	43,30	65,54
TiO <sub>2</sub>	0,14	0,16	0,16	0,64	0,18
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,93	1,41	3,62	18,60	20,49
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,45	4,69	1,27	5,17	-
FeO	8,76	9,0	9,48	4,58	0,57
MgO	45,54	45,87	43,69	7,27	1,54
CaO	0,28	0,37	1,23	17,97	0,45
MnO	0,20	0,10	0,21	0,05	0,03
Na <sub>2</sub> O	-	-	-	0,12	10,00
K <sub>2</sub> O	-	-	-	-	0,48
H <sub>2</sub> O	2,63	2,69	3,63	1,92	1,14
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сл.	Сл.	Сл.	-	-
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,63	0,36	0,51	-	-
NiO	0,25	0,18	0,18	0,02	-
CoO	0,02	0,04	0,05	0,01	-
Сумма	99,75	100,61	100,71	99,65	100,42

Примечание. Аналитик Л.В. Комарова (ИЗК СО АН СССР).

По химизму выделенные разновидности пород рассматриваемой части массива относятся к типу недосыщенных кремнеземом (см. таблицу). По соотношению железа и магния в дунитах, лерцопитах и габбро, постепенным взаимопереходам эти породы относятся к расслоенному дифференцированному довыренскому комплексу, что подтверждается наличием в них зон сульфидной минерализации пирротин-пентландитового типа.

Сульфидная минерализация, связанная с рассматриваемым массивом, представлена довольно широко распространенными [8] генетическими типами: а) сингенетической рассеянной вкрапленностью в серпентинитах и в серпентинизированных дунитах и лерцопитах (содержание NiO не превышает 0,4%); б) эпигенетическим прожилково-вкрапленным оруденением, пространственно приуроченным к зонам интенсивного дробления и расщепления серпентинитов (содержание NiO достигает 1,2%).

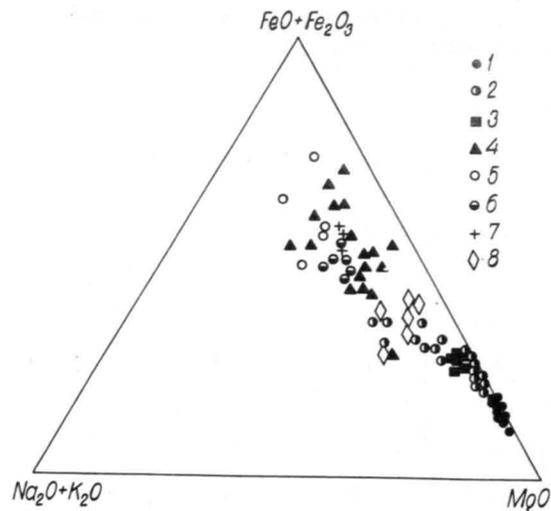


Рис. 2. Диаграмма соотношения  $(FeO + Fe_2O_3)/MgO/(Na_2O + K_2O)$ . Массивы: 1 — гипербазитовые, 2–3 — габбро-перидотитовые, 4–8 — габброидные.

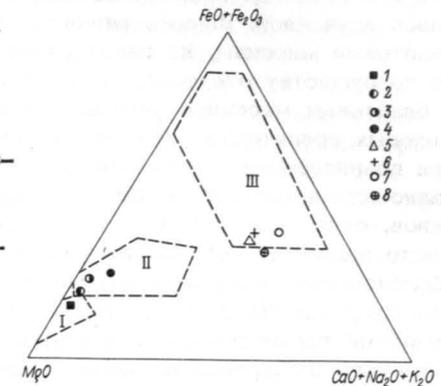
Рассеянная вкрапленность располагается равномерно по всей породе, представлена главным образом пирротиним, в значительно меньшей степени — халькопиритом и пентландитом. Количество сульфидов редко достигает 5%, причем на долю пентландита приходятся десятые доли процента.

Мощность зон прожилково-вкрапленного оруденения весьма изменчива — от нескольких сантиметров до нескольких метров. Простираются они обычно на сотни метров. Распределение сульфидов крайне неравномерное. В ряде случаев концентрация сульфидов достигает 20–35%. Главными рудными минералами являются пирротин, в меньшей степени — магнетит, еще меньше халькопирита и пентландита. Значительно реже встречаются хромит и ильменит, а в зонах окисления — халькозин и лимонит. Там, где увеличивается доля халькопирита, резко возрастает количество пентландита. Для существенно пирротин-халькопиритовой рудной вкрапленности характерно повышенное содержание этого минерала (15–20%). В редких случаях его отношение к другим сульфидам равно 1:1. Пентландит чаще всего является продуктом распада пирротина и представлен пламенивидными мелкими (0.01–0.1 мм) выделениями, иногда отмечаются более крупные обособления.

Для описанных руд характерны высокие отношения никеля к кобальту (7.7–11.6) и никеля к меди (2.2–3.3), как и для сульфидных руд, связанных с Довыренским габбро-перидотитовым массивом [13]. Близок и состав сульфидной минерализации из ультраосновных пород обоих массивов.

Маринкинский массив находится в зоне Келяно-Ирокиндинской серии глубинных разломов, в правобережной части р. Тулдуни —

Рис. 3. Диаграмма соотношений  $(FeO + Fe_2O_3)/MgO/(CaO + Na_2O + K_2O)$ .



Поля: I — хромитоносных массивов; II — медно-никелевых интрузивов; III — титаноносных массивов [2]: 1 — Шаманский, 2 — Довыренский, 3 — Маринкинский, 4 — Право-Мамский, 5 — Витимконский, 6 — Кедровский, 7 — Кабаньий, 8 — Янгудский.

левого притока р. Витима выше Муйской депрессии — и прорывается почти со всех сторон более молодыми гранитоидами. Общая площадь массива около 11 км<sup>2</sup> при максимальной ширине 3,5 км и длине 6 км. Состоит он преимущественно из дунитов, плагиодунитов и троктолитов. В контакте с гранитами эти породы превращены в цоизиты и актинолит-цоизитовые ризности. По составу породы почти полностью соответствуют дунит-троктолитовой ассоциации центральной части Довыренского массива [2], несколько отличаясь по железистости оливинов и ортопироксенов, а также по основности плагиоклазов от подобной ассоциации массива Луча (Становой хребет) [14].

Оруденение в данном массиве тоже подразделяется на два генетических типа: а) площадная рассеянная вкрапленность (пирротина, халькопирита и пентландита) в дунитах и плагиодунитах; б) прожилково-вкрапленная минерализация этих же сульфидов в зонах дробления ультраосновных пород. Отличительной особенностью минерализации от таковой, связанной с Право-Мамским массивом, является развитие ее в почти неизмененных породах. В первом типе минерализации сульфиды находятся чаще в кристаллах оливина, а во втором образуют жилкообразные скопления. Соотношение пирротина с пентландитом в первом случае примерно 5:1, а во втором иногда 1:1. Наиболее высокими содержаниями NiO (до 1.2%) характеризуется прожилково-вкрапленная минерализация.

Для определения потенциальной рудоносности массивов ультраосновных и основных пород Северного Прибайкалья и Байкало-Патомского нагорья проведены петрохимические построения на основе соотношений  $(FeO + Fe_2O_3):MgO:(Na_2O + K_2O)$  и  $(FeO + Fe_2O_3):MgO:(CaO + Na_2O + K_2O)$ , как это было сделано А.И. Богачевым [7] для других регионов. На приведенных диаграммах (рис. 2, 3) изученные массивы разной формационной принадлежности рассматриваемого региона образуют самостоятельные по рудоносности поля составов, что указывает на различную металлогению ультрабазит-базитовых ассоциаций данной территории.

Необходимо отметить, что значительная часть территории Байкало-Патомского нагорья, непосредственно примыкающая к зоне

БАМ, в геологическом отношении к настоящему времени остается слабо изученной. Широко развиты здесь базитовые и ультрабазит-базитовые массивы, но сведения об их формационной принадлежности по существу отсутствуют. Большинство ультрабазит-базитовых и базитовых массивов находится в поле распространения более молодых гранитоидов, влияние которых, по-видимому, сказалось при возникновении эпигенетического оруденения и не только сульфидно-никелевого. В составе же ряда ультрабазит-базитовых массивов, судя по результатам геологосъемочных работ, значительное место занимают породы ультраосновного ряда. При более детальном обследовании такие массивы могут оказаться идентичными Довыренскому или Чайскому. Такое предположение основывается как на общей геологической структуре, так и на наличии здесь Правомамского и Маринкина массивов, несущих сульфидно-никелевую минерализацию.

Приведенные материалы позволяют бассейны рр. Правой илевой Мамы, Мамакана и Конкудеры, правое- и левобережные части р. Витим в районе Муйской депрессии считать наиболее перспективными площадями для нахождения расслоенных габбро-перидотитовых интрузивов, аналогичных довыренскому комплексу, в которых может быть встречена сульфидно-никелевая минерализация.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Груднин М.И. Петрография Нюрундуканского и Довыренского габбро-перидотитовых массивов (Северное Прибайкалье) // Петрография Восточной Сибири. Т.3. М., 1965. С. 5-112.
2. Груднин М.И. Базит-гипербазитовый магматизм Байкальской горной области. Новосибирск, 1979. 156 с.
3. Груднин М.И., Остапенко Ю.П. Основные и ультраосновные породы среднего течения р. Мамы и связанные с ними сульфидно-никелевое оруденение // Вопросы петрографии и минералогии основных пород Восточной Сибири. Иркутск, 1974. С. 72-79.
4. Гурулев С.А. Геология и условия формирования Иоко-Довыренского габбро-перидотитового массива. М., 1965. 122 с.
5. Гурулев С.А., Самбуев К.С. Магматическое замещение в Чайском габбро-перидотитовом массиве. Улан-Удэ, 1967. 245 с.
6. Леснов Ф.П. Геология и петрология Чайского габбро-перидотитового никеленосного плутона (Северное Прибайкалье). Новосибирск, 1972. 228 с.
7. Маракушев А.А., Фролова Т.И., Яковлева Е.Б., Емельяненко П.Ф. Магматизм и земная кора // Вестник МГУ. Геология. 1977. № 1. С.3-29.
8. Минералогия медно-никелевых месторождений Кольского полуострова / Ред. Г.И. Горбунов. Л., 1981. 350 с.

9. Протерозойские ультрабазит-базитовые формации Байкало-Становой области / П.Л. Балыкин, Г.В. Поляков, В.И. Богнибов, Т.Е. Петрова, Новосибирск, 1986. 206 с.

10. Прудовский Э.Л., Груднин М.И. Особенности геологического строения и вещественного состава дунит-троктолитового массива Маринкин (Средне-Витимская горная страна) // Геологические формации Прибайкалья и Забайкалья. Чита, 1971. С. 21-24. (Тр. Забайкальск. фил. Географич. об-ва СССР; Вып. 25).

11. Свешников К.И. Расслоенные габброиды массива гольца Исполинского (Олёкмо-Витимская горная страна) // Геология и геофизика. 1978, № 9. С. 155-159.

12. Свешников К.И. Расслоенные габброиды массива гольца Заоблачного (западная часть Олёкмо-Витимской горной страны) // Структурные элементы региона Байкало-Амурской магистрали и их минерагенические особенности. Л., 1979. С. 17-33.

13. Шикин Н.Н. О медно-никелевом сульфидном оруденении в Иоко-Довыренском массиве основных и ультраосновных пород // Геология рудных месторождений. 1964, № 1. С. 93-98.

14. Шека С.А. Петрология и рудоносность никелевых дунит-троктолитовых интрузий Станового хребта. М., 1969. 134 с.

С.А. Шека, А.А. Вржосек,  
В.М. Чубаров

#### ТРОКТОЛИТ-КОРТЛАНДИТОВАЯ НИКЕЛЕНОСНАЯ ФОРМАЦИЯ ДАЛЬНОГО ВОСТОКА

Известно, что основным носителем сульфидных медно-никелевых руд является формация (или группа формаций) расслоенных габбро-гипербазитовых интрузивов. Такие массивы в подавляющем большинстве случаев приурочены к платформенным или другим стабилизированным областям, чем, видимо, и объясняется их дифференцированный (а не фазный) характер, обуславливающий более совершенное разделение магм на силикатную и рудную составляющие, что в конечном итоге приводит к значительной концентрации руд в локальных участках. Все типы никеленосных интрузий характеризуются преобладанием безводных типов пород. В то же время в мобильной зоне перехода Тихий океан-Азиатский континент получили развитие своеобразные габбро-гипербазитовые никеленосные массивы, сложенные амфиболовыми габбро и перидотитами (кортландитами), что заставило выделить их в особую троктолит-кортландитовую формацию [2, 3 и др.]. Проведенные исследования, однако, показывают, что петрографическое и геоструктурное своеобразие формации вызвано специфическими термодинамическими и тектоническими условиями эволюции магм, подобных по составу и рудоносности неизвестным никеленосным типам.

Следует уточнить значение термина „кортландит“, поскольку во многих случаях он относится к перидотитам, амфиболитизированным за счет наложенных процессов регионального или контактово-гидротермального метаморфизма. Кортландитом Х. Вильямс [5] назвал дзупироксеновый перидотит с пойкилитовыми порфиробластами роговой обманки из района Кортланд, штат Нью-Йорк, США. Судя по первоисточнику, породы этого массива не несут следов гидротермального или регионального метаморфизма, и образование роговой обманки, равно как и апатита, следует связывать с первичной обогащенностью магмы водой и фосфором, т.е. в данном случае амфиболитизация – процесс позднемагматический (автометасоматический). Это подтверждается повышенными глиноземистостью и титанистостью роговой обманки, ассоциацией ее с солидусными хромистой шпинелью, ильменитом, высокотитанистым магнетитом и магматическими сульфидами, а также замещением вторичными амфиболами при наложении на первичные перидотиты гранитизации. Еще в ранних экспериментах Х. Йодера и К.Э. Тилли [4] было установлено, что равновесное образование амфибола в парагенезисе с оливином и пироксенами требует повышенных температур и давлений воды в расплаве.

Кортландиты как индикаторы богатых летучими компонентами магм представляют несомненный практический интерес, поскольку в большинстве случаев они являются породами рудоносными. Особенно широкое распространение они получили по восточной окраине Азии [1-3, 8 и др.]. Во всех изученных районах Дальнего Востока массивы троктолит-кортландитовой формации никеленосны. Месторождения представлены обычно группами мелких тел богатых медно-никелевых руд. Наиболее детально авторы изучали массивы Камчатки и Приморья.

Геологическая позиция коротландитовых массивов освещена нами ранее [1, 8, 9 и др.], поэтому ограничимся их краткой характеристикой.

Описываемые интрузивы получили развитие по окраинам Среднего кристаллического массива Камчатки и Ханкайского кристаллического массива Приморья, где они залегают в мелких мульдах и прогибах, выполненных черносланцевыми толщами. В разрезе толщ отсутствуют вулканиты, а сами осадки обогащены органикой и серой (до 2 мас. %). Эти особенности наряду со значительной (4-7 км) мощностью черносланцевого разреза позволяют определять режим развития зон как миогеосинклинальный. Возраст массивов Приморья – верхняя пермь, на Камчатке ввиду отсутствия фаунистических остатков во вмещающих породах он не ясен. Абсолютные (К – Ar) датировки здесь дают интервал 220-80 млн. лет.

Наиболее изученными являются на Камчатке массивы в верховьях рр. Степанова-Левый, Порожистый (Кувалорог), Левый Дукук (Дукук), Левый Кагнисин (Кагнисин) и в среднем течении рр. Лунтос, Ича (Шануч); в Приморье – массивы на водоразделе рр. Одноречье и Мал. Пойма в верховьях р. Пойма, на п-ове Суслова и др. Все они прорывают глиноземистые породы и окружаются орео-

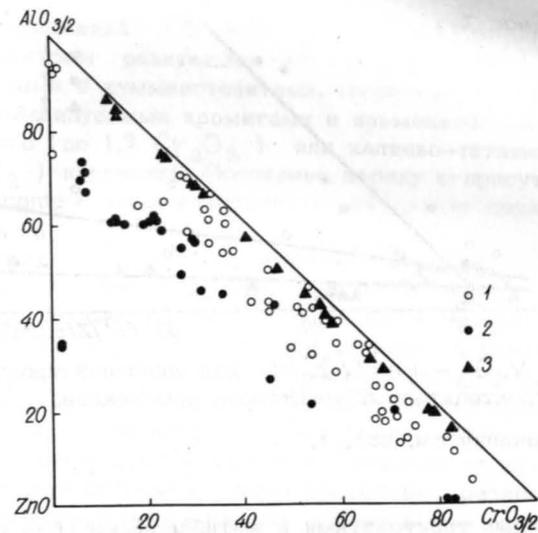


Рис. 1. Диаграмма  $Al_2O_3-Cr_2O_3-ZnO$  для шпинелей троктолит-кортландитового и троктолит-гарцбургитового комплексов.

1 – шпинели в породах, 2 – в рудах троктолит-кортландитового комплекса, 3 – шпинели в породах троктолит-гарцбургитового комплекса.

лами разнообразных гранатовых роговиков, среди которых часты и гиперстен-гранатовые разности, принимаемые многими авторами за древние гранулиты [9]. Форма коротландитовых тел чаще всего штокообразная, реже дайковая, размеры в поперечнике не превышают первых сотен метров. Ассоциирующие с ними нориты и габбро-нориты слагают плитообразные пологозалегающие массивы и штокообразные тела, площадь наиболее крупных из них (Кувалорог) достигает 30 км<sup>2</sup>. В вертикальном разрезе массивов нориты неоднократно переслаиваются с гранатовыми роговиками, что свидетельствует о расщеплении магмы в слоистой толще. В зонах контакта с вмещающими сланцами нориты насыщены графитом, апатитом, высокотитанистым биотитом, гранатом и сульфидами железа, подчёркивающими мобилизацию из вмещающих пород органики, фосфора, серы, калия и глинозема.

Кортландиты проявлены в двух формах: самостоятельные тела во вмещающих осадочных породах или в прорывающих их норитах; шпировые выделения в норитах, окруженные ореолом пегматоидных габбро-норитов. Если первые являются ранней фазой, то вторые синхронны габброидам крупных массивов, хотя контакты их не наблюдались. Строение и состав двух типов проявлений коротландитов различны. Первый тип представлен мелкими телами бесплагмакловых перидотитов, иногда окруженных по периферии или висячем

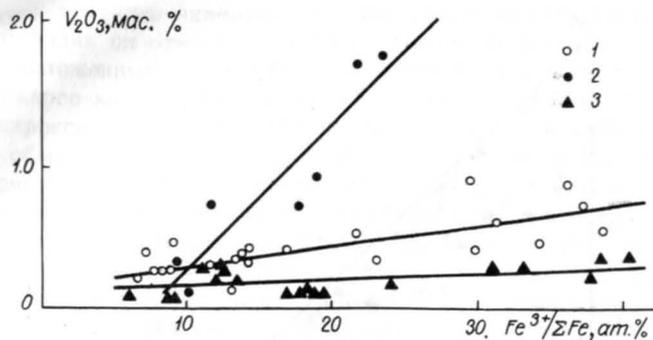


Рис. 2. График  $V_2O_3 - Fe^{3+}/\Sigma Fe$  для шпинелей троктолит-кортландитового и троктолит-гарцбургитового комплексов.

Условные обозначения см. рис. 1.

боку пегматоидными троктолитами и амфиболовыми (без реликтов пироксенов) габбро. Ядро таких тел (или донная часть) имеет состав дунита или гарцбургита с небольшой примесью паргасита. Тела второго типа характеризуются постепенными переходами плагиоклаз-двопироксеновых кортландитов или троктолитов в пегматоидные габбро-нориты. Все известные кортландитовые тела несут вкрапленно-шпировое медно-никелевое орудование.

Кортландиты ядерных частей тел состоят из зерен оливина с включениями ликвидусной шпинели, промежутки между которыми заполнены или сульфидами, или буроватой роговой обманкой и ромбовидными кристаллами солидусной шпинели. К краям тел в породах появляются орто-, реже клинопироксены, наблюдающиеся в виде пойкилитовых вростков в крупных порфиробластах буроватой роговой обманки, которая у контакта с вмещающими породами вытесняет все минералы.

Шпировые кортландиты по микроструктуре представляют в разной степени амфиболлизированные меланократовые троктолиты и оливиновые габбро-нориты, причем пироксены формируют как оторочки на контакте оливина и плагиоклаза, так и удлиненные или таблитчатые зерна в плагиоклазовом агрегате. Плагиоклаз всегда ксеноморфен по отношению к остальным минералам и несет включения хорошо ограниченных зерен шпинели. Во всех породах обнаруживается ильменит при полном отсутствии первичного магнетита. Безводные минералы замещаются крупными (до 5 см) порфиробластами буроватого паргасита.

Особенностью состава минералов кортландитов являются широкие его вариации в пределах одного образца. Так, ликвидусные ядра оливина имеют железистость 11-10%, в то время как на краях и в отдельных мелких зернах она достигает 40%. Таковы же пределы колебаний железистости пироксенов, в ильмените наблюдаются ва-

риации содержаний  $Fe - Mg - Mn$ . Амфиболы представлены широким спектром разновидностей, начиная от паргаситов и кончая актинолитами и куммингтонитами. Наиболее ранний амфибол в контакте с ликвидусными хромитами и ильменитом имеет состав или хромистого (до 1.7  $Cr_2O_3$ ) или калиево-титанистого (1%  $K_2O$ , 4%  $TiO_2$ ) паргасита. Последнее наряду с присутствием титанистого флогопита свидетельствует о накоплении калия в остаточном расплаве.

Специфичны шпинели описываемой формации. Для них характерны повышенные железистость, титанистость и восстановленность, что позволяет относить их к группе базальтоидных гипербазитов. В направлении от ликвидусных (в оливине) к солидусным (в пироксенах, амфиболах) заметно возрастает роль  $Fe_2TiO_4$ -компонента при сокращении доли  $MgAl_2O_4$ . В плагиоклазовых разновидностях шпинели обогащаются  $FeAl_2O_4$ -компонентом, вытесняя хромовую составляющую. Свообразны шпинели медно-никелевых руд, среди которых встречаются чисто хромитовые разновидности.

Отличительной особенностью шпинелей формации являются повышенные концентрации цинка, что, очевидно, отражает рудную нагрузку магм и может служить поисковым признаком. Из диаграммы (рис. 1) следует, что содержания цинка несколько возрастают с ростом глиноземистости шпинелей, а максимум его (16%  $ZnO$ ) относится к шпинелям из метаморфизованных руд.

Наконец, к характерной черте шпинелей формации относятся и повышенные концентрации ванадия, достигающие 1.7%  $V_2O_3$  в рудных шпинелях. На графике (рис. 2) отчетливо выявляется, что возрастание содержаний ванадия связано с ростом окисленности шпинели, причем эта зависимость различна для сульфидных руд и пород. Подобные же особенности характерны и для руд Воронежского массива [6].

Перечисленные особенности минералов находят отражение и в валовом составе пород (см. таблицу). По соотношению кальция и алюминия при незначительном содержании хромита кортландиты отвечают меланократовым троктолитам. Повышенные железистость и титанистость позволяют относить их к производным базальтоидной магмы, в то время как устойчивая обогащенность их калием подчеркивает сиалический характер исходных магм. Наконец, постоянное присутствие в породах фосфора и серы указывает на рудноносный характер кортландитовых магм.

Присутствие в ряде образцов пары орто- и клинопироксен позволяет сделать приближенные оценки температур кристаллизации кортландитовых магм [12, 13]. Полученные температуры характеризуют „пироксеновый“ солидус. Обычно в контакте с роговой обманкой в пироксенах появляется зональность, поэтому температуру кристаллизации краев зерен можно считать близкой к истинному солидусу. Температуры „пироксенового“ солидуса составляют 925-1150 °C, нижние пределы обычно относятся к плагиоклазовым разновидностям. Значения ниже 900 °C показывают края зерен или реликты в роговой обманке. Они, очевидно, фиксируют истинный со-

Оксиды	779	741а	734а	784в	760п	724б/1	790в	792л	722б	752в
SiO <sub>2</sub>	38.50	43.68	34.42	52.04	49.78	47.32	43.32	45.86	43.98	47.16
TiO <sub>2</sub>	0.36	0.90	0.70	0.55	1.19	1.02	0.70	1.22	1.23	0.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.30	6.92	7.20	7.42	6.62	10.41	11.40	9.67	9.68	8.80
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.22	3.42	6.32	1.53	1.42	0.10	4.62	2.58	4.05	1.44
FeO	9.55	8.27	8.08	9.70	10.14	9.35	6.73	8.91	8.64	9.42
MnO	0.33	0.24	0.27	0.18	0.16	0.16	0.22	0.14	0.24	0.05
MgO	31.02	27.28	30.00	19.84	22.65	18.44	20.70	19.87	22.45	23.27
CaO	1.90	2.76	2.10	2.64	3.75	8.53	5.45	6.39	3.69	5.97
Na <sub>2</sub> O	0.64	0.90	0.44	0.99	0.92	1.56	1.09	1.62	1.07	1.17
K <sub>2</sub> O	0.31	0.63	0.12	0.50	0.53	0.40	0.81	1.21	1.38	0.96
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	4.42	3.64	8.00	3.29	1.97	2.14	2.57	1.80	2.53	1.10
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.36	0.37	0.42	0.15	0.07	0.12	0.35	0.08	0.21	-
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.44	0.12	0.20	0.40	0.44	н.в.	0.25	0.40	0.44	0.12
SO <sub>3</sub>	3.10	1.10	1.82	0.21	0.25	н.в.	1.82	0.29	0.84	н.в.
Сумма	99.45	100.23	98.27	99.44	99.89	99.55	100.03	100.04	100.43	100.17
f	20.6	18.8	20.7	23.7	22.1	22.9	22.7	22.8	23.5	20.5

Примечание. Обр. 790, 792 - массив Дук, остальные - Кувалорот. Обр. 724, 790, 792, 722, 752 - плагиоклазовые кортландиты. Аналитики: Л.В. Недашковская, Н.М. Никитина.

пидус кортландитовых магм. Приведенные данные свидетельствуют о значительном интервале температур кристаллизации кортландитовых магм, что возможно лишь при повышенных давлениях.

Глубина кристаллизации расплавов оценивалась по ортопироксен-плагиоклаз-гранатовому геобарометру Ньютона [11]. Ранее И.А. Гариным [7] показано, что метаморфизм вмещающих интрузивы пород протекал в условиях  $T = 500-700$  °С;  $P_s = 5-7.5$  кбар. Температуры формирования изученных контаминированных кортландитов и пироксен-гранатовых роговиков, по данным дупироксенового и биотит-гранатового термометров, попадают в узкий интервал 720-750 °С. Рассчитанные для этих температур по указанному геобарометру давления (6,3-8,0 кбар) близки к параметрам метаморфизма пород Срединного хребта.

Полученные параметры минералообразования характерны для гранулитовых комплексов Дальнего Востока, однако в южной части Срединного хребта метаморфизм пород лишь в мощных зонах катаклаза едва достигает амфиболитовой фации. В то же время непосредственно в обнажениях наблюдается постепенный переход мусковит-андалузит-биотитовых сланцев в ортопироксен-гранат-плагиоклазовые роговики, где все три минерала равновесны. При этом, как показывают расчеты, возрастание температуры на 200 °С повышает давление не более чем на 0,5-0,8 кбар. В этих условиях наблюдающееся противоречие в метаморфизме вмещающих пород и контактовых роговиков может быть объяснено, видимо, лишь кинетическими явлениями - быстрым погружением и последующим быстрым подъемом отдельных блоков Срединного хребта.

Как указывалось ранее, своеобразием никеленосных кортландитов являются отсутствие первичного магнетита, очень низкая окисленность ликвидусной шпинели и постоянное присутствие в породах графита и муассанита, что свидетельствует о кристаллизации магм в поле стабильности вюстита и графита. По данным многочисленных экспериментов и расчетов [10], при полученных ранее значениях температуры и давления графит и вюстит сосуществуют в узком интервале фугитивности кислорода  $-10-20-22$  атм. Именно восстановленным характером кортландитовых магм обусловлены аномально высокая железистость и восстановленность шпинелей при сравнительно умеренной железистости расплавов. Эти же факторы, очевидно, определяют и сульфидную медно-никелевую рудоносность комплекса, что доказывается отложением пентландита, халькопирита и пирротина в виде кайм вокруг гнезд графита. Присутствие в породах амфибола и биотита наряду с графитом и карбидами указывает и на высокое давление воды во флюиде, что при низкой фугитивности кислорода и повышенном общем давлении должно расширять поле устойчивости метана. При этом равновесный с графитом и вюститом флюид должен быть существенно (до 90%) водным [10].

Причина аномальности флюидного режима никеленосных кортландитовых магм не ясна, однако приуроченность их к черносланцевым толщам, богатым водой, серой и органикой (графитом), является установленным фактом. Более того, отдельные мелкие массивы, вы-

ходящие в прилежащие вулканогенно-осадочные толщи, лишены сульфидов и несут магнетитовую минерализацию.

Полученные данные показывают, что кортландиты являются типичными производными гипербазитовой магмы базальтоидного ряда. Обогащенность ее водой и серой при повышенных глубинности и восстановленности флюидов способствовали значительному расширению интервала пиквидус-солидус расплава и более совершенной экстракции меди, никеля, кобальта и железа серой. В формационном отношении кортландиты совместно с ассоциирующими с ними габброидами относятся к группе никеленосных габбро-перидотитовых слоенных массивов, отличаясь от них несовершенной стратификацией, обусловленной более мобильными тектоническими условиями магмоконтролирующих структур. Иными словами, габбро-кортландитовые интрузивы – миогеосинклинальные аналоги платформенных расслоенных массивов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В р ж о с е к А.А. О находке кортландитов в юго-западном Приморье // Магматические и метаморфические комплексы Дальнего Востока. Хабаровск, 1967. С. 183-185.
2. З и м и н С.С. Формация никеленосных роговообманковых базитов Дальнего Востока. Новосибирск, 1973. 90 с.
3. З и м и н С.С., Щ е к а С.А., Л е н н и к о в А.М. Формации основных и ультраосновных пород протерозойского обрамления Алданского щита // Материалы по тектонике и петрологии Тихоокеанского пояса. М., 1964. С. 101-122.
4. Й о д е р Х.С., Т и п л и К.Э. Происхождение базальтовой магмы. М., 1965. 248 с.
5. П е т р о г р а ф и ч е с к и й словарь / Ред. Ф.Ю. Левинсон-Лессинг и Э.А. Струве. М., 1963. 447 с.
6. П л а к с е н к о А.А. Типоморфизм хромшпинелидов-вкрапленников в сульфидах – источник информации о генезисе сульфидных медно-никелевых месторождений // Минералогия – народному хозяйству. Л., 1987. С. 27-28 (Тез. докл. VII съезда ВМО).
7. Т а р а р и н И.А. Эволюция метаморфических процессов в Срединно-Камчатском массиве // Эволюция геологических процессов Дальнего Востока. Владивосток, 1986. С. 46-52.
8. Щ е к а С.А. Некоторые общие закономерности эволюции базит-гипербазитового магматизма // Основные проблемы металлогении Тихоокеанского рудного пояса. Владивосток, 1971. С. 300-301.
9. Щ е к а С.А. Окологабброидные роговики и гранулитовые породы Камчатки // Петрология и петрохимия магматических и метаморфических пород Дальнего Востока. Владивосток, 1975. С. 167-196.
10. B a l l h a u s C.G., S t u m p f l E.F. Occurrence and petrological significance of graphite in the Upper Critical Zone, western Bushveld Complex, South Africa // Earth Planet. Sci. Let. 1985. Vol. 74, N 1, P. 58-68.

11. N e w t o n R.C., P e r k i n s D. Thermodynamic calibration of geobarometers based on the assemblage garnet - plagioclase-orthopyroxene (clinopyroxene) - quartz // Amer. Miner. 1982. Vol.67, 3-4. P. 203-222.

12. W e l l i s P.R.A. Pyroxene geothermometry in simple and complex systems // Contribs. Mineral. Petrol. 1977. Vol. 62, N 2. P. 129-139.

13. W o o d J.S., B a n n o S. Garnet-orthopyroxene and orthopyroxene-clinopyroxene relationships in simple and complex systems // Contribs. Mineral. Petrol. 1973. Vol. 42, N 2. P. 109-124.

А.В. К о н д р а т ь е в, Г.В. С п и р и д о н о в,  
О.А. К р а в ц о в а, В.С. К о т о в,  
С.В. С о к о л о в, В.Е. К у н и л о в

#### СОСТОЯНИЕ И ЗАДАЧИ ГЕОЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ИЗУЧЕНИЯ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

В месторождениях сульфидных медно-никелевых руд сосредоточена преобладающая часть запасов никеля, кобальта, а также значительная часть меди и драгоценных металлов страны. Полнота и комплексность использования сырья в значительной степени зависит от геолого-технологической подготовки руд к добыче и переработке.

Для сульфидных медно-никелевых руд целесообразен комплекс исследований, включающий: 1) детальное изучение вещественного состава природных типов и разновидностей руд; 2) изучение технологических свойств руд; 3) выявление влияния параметров вещественного состава на технологические свойства; 4) выделение геолого-технологических типов и сортов (выявление общности вещественного состава, технологических свойств и пространственного положения руд); 5) геолого-технологическое картирование; 6) лабораторные и попутромышленные испытания по отработке оптимальных технологических режимов переработки геолого-технологических типов и сортов руд; 7) изучение влияния переработки руд по геолого-технологическим типам и сортам на основные технологические показатели действующих предприятий (обогачительные и металлургические переделы); 8) выделение промышленных типов и сортов руд на основе анализа геолого-технологических особенностей руд и возможности их отдельной добычи; 9) создание системы управления качеством руд.

Подобный комплекс исследований в последние годы проводится на комбинате „Печенганикель“, основной сырьевой базой которого служат руды месторождений Печенгского рудного поля.

© А.В. Кондратьев, Г.В. Спиридонов, О.А. Кравцова,  
В.С. Котов, С.В. Соколов, В.Е. Кунилов, 1990

В настоящее время там существуют два варианта переработки руд: прямой пирометаллургический и с предварительным обогащением, на которые поступают соответственно два промышленных типа руд: богатые и бедные. Богатые руды объединяют следующие природные типы: густовкрапленные, брекчиевидные и сплошные руды.

В настоящее время часть богатых руд из лежащего бока крупных ультраосновных массивов восточного фланга рудного поля раздельно не добывается, а включается в промышленный тип бедных (вкрапленные и прожилково-вкрапленные) руд и поступает на обогащение. Эти богатые руды являются дополнительным резервом расширения сырьевой базы богатых руд, пригодных для прямой пирометаллургической переработки.

При добыче богатых руд происходит их разубоживание бедными рудами и вмещающими породами с резко различными физическими свойствами, что создает возможность покусковой сепарации с получением трех продуктов: богатого — для пиропередела, бедного — для обогащения и отвального — для последующего использования в качестве наполнителя при закладке выработанного пространства.

Основным поставщиком сырья для обогатительного передела является Ждановское месторождение, на котором выполнен комплекс исследований с выделением трех геолого-технологических сортов руд: рядовых, труднообогатимых и оталькованных.

В рядовые входят вкрапленные руды в малоизмененных перидотитах с хризотил-лизардитом, амфиболитизированных пироксенитах, прожилково-вкрапленные руды в туфогенно-осадочных породах и богатые руды лежащего бока. Для рядовых руд характерна крупная по размеру (преобладание более 0,1 мм) сульфидная вкрапленность простой морфологии с незначительной степенью замещения ее (до 20%) силикатами и магнетитом. При обогащении этого сорта руд получается черновой концентрат хорошего качества, что уменьшает потери полезных компонентов при доведении его до кондиционного. Содержание никеля в хвостах флотации пониженное.

К труднообогатимым относятся вкрапленные руды в серпентинизированных с антигоритом перидотитах. Они содержат значительное количество тонкой вкрапленности сульфидов (преобладает вкрапленность размером менее 0,1 мм) сложной морфологии. Степень замещения сульфидной вкрапленности магнетитом и силикатами составляет до 60–80% объема вкрапленника. Переработка данных руд характеризуется повышенным содержанием никеля в отвальных хвостах и низким качеством чернового концентрата.

В оталькованных перидотитах и оталькованных брекчиевидных рудах форма сульфидной вкрапленности простая, замещение сульфидов магнетитом и силикатами не превышает 20–25%. Силикатные минералы представлены в основном флотоактивным тальком. В результате обогащения оталькованных руд наблюдается большой выход пенного продукта, что приводит к значительным потерям полезных компонентов при доведении концентрата до кондиционного.

Геометризация геолого-технологических сортов руд (геолого-технологическое картирование) показала, что рядовые и трудно-

обогатимые руды слагают значительные участки рудных тел и могут быть добыты раздельно в условиях проведения открытых горных работ.

Ввиду резких различий в технологических свойствах рядовых и труднообогатимых руд раздельная их переработка приводит к повышению извлечения при существующем технологическом режиме обогащения по сравнению с переработкой таких же объемов в смеси. В результате анализа работы обогатительной фабрики (ОФ-1) установлено, что при преобладании в шихте более 50, 65 и 80% рядовых руд извлечение никеля в концентрат повышается соответственно на 1,72, 2,34 и 3,36% по сравнению со средним за данный период времени.

Извлечение никеля в концентрат близко к среднему при переработке руд с преобладанием труднообогатимых более 50% в шихте и повышается при возрастании доли труднообогатимых руд более 65 и 80% соответственно на 0,25 и 0,69%.

Оталькованные руды распространены в тектонических зонах, главным образом в приподожвенных участках рудных тел, а также вдоль секущих тектонических нарушений и на участках выклинивания рудных тел, что затрудняет их раздельную добычу и накопление для селективной переработки. Установлено, что совместная переработка оталькованных руд с труднообогатимыми приводит к резкому нарушению технологического режима, падению извлечения и высоким потерям в отвальных хвостах. При обогащении оталькованных руд совместно с рядовыми в соотношении не более чем 1:3 показатели переработки практически не ухудшаются и близки к средним значениям. Таким образом, целесообразно выделять два промышленных сорта руд: труднообогатимые и рядовые, представленные или собственно рядовыми рудами, или рядовыми с частью оталькованных.

На комбинате „Печенганикель“ внедрена система управления качеством сырья, обеспечивающая подачу на ОФ-1 руд с преобладанием одного из промышленных сортов с периодом от 2–3 до 25 суток. Это позволило стабилизировать технологический режим и повысить извлечение никеля в концентрат при обогащении в фабричном режиме на 0,7% абсолютных.

В настоящее время на основе лабораторных и полупромышленных испытаний по разработке технологических схем и реагентных режимов обогащения геолого-технологических сортов руд проводятся работы по выбору оптимальных режимов переработки на ОФ-1 руд с преобладанием одного из промышленных сортов, что создаст возможность дополнительно повысить извлечение никеля примерно на 0,5%.

Дальнейшие задачи по управлению качеством сырья на комбинате „Печенганикель“ следующие: 1) организация селективной добычи богатых руд лежащего бока рудных тел Ждановского месторождения для прямого пирометаллургического передела; 2) внедрение покусковой сепарации руд на руднике „Северный“; 3) внедрение управления качеством сырья с применением ядерно-физических методов опробования в транспортных емкостях на руднике „Каула-

Котсельваара"; 4) разработка и внедрение стандарта предприятия по геолого-технологическому картированию, а также продолжение проведения опережающего геолого-технологического картирования; 5) составление регламента планирования и ведения горных работ с целью обеспечения длительных периодов подач (7 суток и более) руд с преобладанием одного из промышленных сортов; 6) создание системы прохождения информации о качестве сырья на комбинате с выдачей технологических регламентов (производительность и реактивный режим) на периоды подачи руд одного промышленного сорта.

На месторождениях Талнахского рудного узла также изучаются текстурно-структурные особенности, минеральный и химический состав руд, их технологические свойства, разработан ряд классификаций руд. Проводится опережающее опробование на различных стадиях разведки и при эксплуатации месторождений. Эти работы велись целым рядом организаций и имели разный уровень проработки материала. При этом решались отдельные частные задачи, не обеспечившие полной геолого-технологической подготовки руд к добыче и переработке. В настоящее время в этой области предусматривается решение следующих задач: 1) анализ и обобщение результатов предыдущих геолого-технологических исследований; 2) выявление основных параметров вещественного состава, определяющих технологические свойства руд; 3) создание единой геолого-технологической классификации руд; 4) разработка методического руководства и проведение геолого-технологического картирования; 5) создание на основе результатов геолого-технологического картирования системы управления качеством руд.

Например, богатые пирротиновые руды целесообразно подразделить на разновидности (по количеству породообразующих минералов), откартировать эти разновидности и проработать варианты их раздельной добычи и переработки. Разработка критериев выделения высокомедистых руд (или руд селективной добычи) позволит направить их дополнительное количество непосредственно в плавку. Раздельная добыча и переработка „медистых“ и вкрапленных руд повысит извлечение цветных и драгоценных металлов. Для „медистых“ руд целесообразно упростить существующую классификацию с выделением рядовых и труднообогатимых (валлериитсодержащих) руд, провести геолого-технологическое картирование, рассмотреть вариант раздельной добычи, а также разработать способ рациональной переработки труднообогатимых руд.

Внедрение систем управления качеством сульфидных медно-никелевых руд на основе геолого-технологического изучения сырья позволит существенно увеличить полноту и комплексность использования его. Кроме того, результаты геолого-технологического изучения сырья способствуют совершенствованию действующих и разработке новых технологических процессов.

Б.М. Михайлов, В.Ф. Долгополов,  
П.А. Литвин, Н.В. Фомичев,  
И.И. Эдельштейн

#### ПЕРВООЧЕРЕДНЫЕ ЗАДАЧИ РЕГИОНАЛЬНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ГИПЕРГЕННЫХ РУД НИКЕЛЯ В СССР

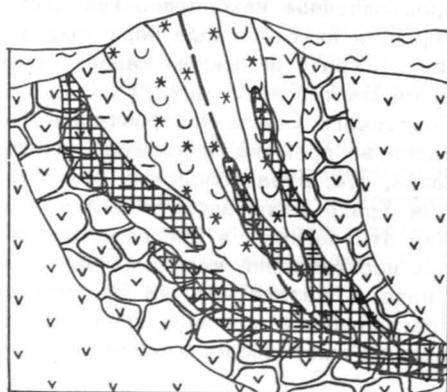
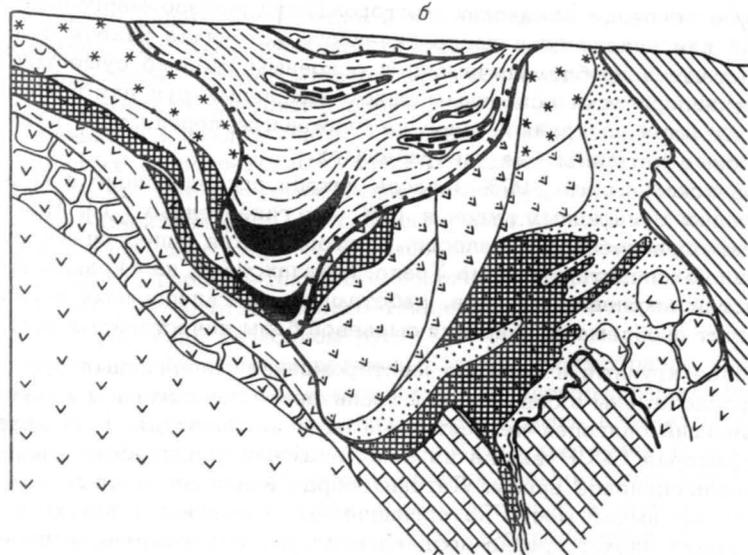
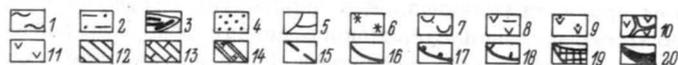
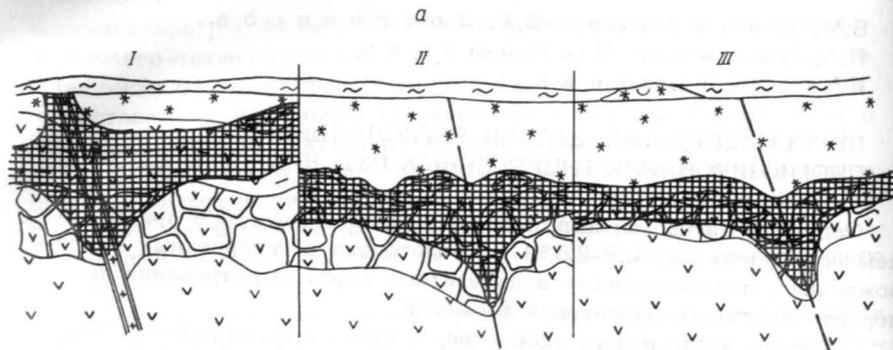
Основная масса мировых запасов никеля (более 80% при среднем его содержании 0,9–2,5%) сосредоточена в гипергенных месторождениях, локализованных в латеритных корах выветривания на породе дунит-гарцбургитовой формации.

Согласно заключениям экспертов, в связи с ощущаемым в мире сокращением прогнозных площадей и перспектив открытия новых эндогенных месторождений сульфидного никеля роль сульфидных руд в производстве никеля будет снижаться. Оптимистические надежды на быстрое освоение океанских месторождений железо-марганцевых конкреций как практически неограниченного источника никеля пока что остаются проблематичными, и основным реально существующим и технологически освоенным типом никелевых руд для большинства стран мира по крайней мере на ближайшую перспективу будут никеленосные латериты на ультрабазах.

В Советском Союзе 90% запасов никеля сосредоточено в медно-никелевых сульфидных рудах и 10% – в гипергенных [1]. Несмотря на ограниченность запасов, месторождения гипергенных руд интенсивно эксплуатируются на Урале, в Казахстане, на Украине. Для большинства никелевых заводов, работающих на гипергенных рудах, остро стоит проблема расширения сырьевой базы качественных руд.

Наиболее крупные и богатые месторождения гипергенных руд никеля расположены в современной тропической зоне Земли и возникли в новейший олигоцен-четвертичный этап ее развития. К сожалению, территория СССР вышла из зоны влажных тропических климатов в доолигоценное время. Латеритообразование на территории нашей страны имело место на ограниченных площадях и только в более древние эпохи: средне-позднедевонскую, раннекаменноугольную, позднеtriasовую и меловую (точнее альб-туронскую). Из переречисленных эпох промышленное накопление никелевых руд известно только в меловой, хотя никеленосные коры выветривания обнаружены в верхнем триасе (Урал) и нижнем карбоне (восточное погружение Ветреного Пояса Балтийского щита) [2].

На территории Советского Союза ультраосновной магматизм наиболее широко проявился во времена заложения каледонских и герцидских геосинклиналий, т.е. в палеозойскую эру. Таковыми являются горные сооружения Урало-Тяньшанского и Алтае-Саянского складчатых поясов. Именно эти регионы и представляют наибольший интерес для прогнозных исследований на гипергенные месторождения никеля. Здесь, на Урале, в Казахстане, на Салаире и в Кузнецком Алатау, в периоды региональной меловой планации на дневную поверхность были выведены многочисленные крупные массивы ультра-



базитов, на которых формировались мощные коры выветривания палатитного профиля.

Таким образом, для регионального прогнозирования гипергенных руд никеля основополагающими являются два критерия: 1) обязательный выход на поверхность массивов ультраосновных пород дунит-гарцбургитовой формации, первично обогащенных никелем (0,15-0,25% и более); 2) региональная эпоха корообразования, характеризующаяся относительным тектоническим покоем и господством жарких влажных климатов. Все другие критерии объединяются в группу локальных и оцениваются применительно к конкретной геологической ситуации, которая в свою очередь характеризуется формированием строго определенных промышленно-генетических типов месторождений.

Проведенный нами анализ строения и состава промышленных гипергенных месторождений никеля СССР позволил объединить их в три группы и предложить для каждой из них свою геологическую модель. По степени продуктивности и промышленной значимости предложенные модели выстраиваются в ряд: кимперсайская-уфалейская-новоаккермановская.

Кимперсайская модель характеризует месторождения никеля, связанные с площадной корой выветривания на крупных массивах серпентинизированных ультрабазитов дунит-гарцбургитовой формации площадью во многие десятки и даже сотни квадратных километров. Эти месторождения формируются в условиях выположенного рельефа, что определяет близкое к горизонтальному залегание зон профиля выветривания (см. рисунок).

В зависимости главным образом от геоморфологических и гидрогеологических условий в площадной коре выветривания формируются различные типы профилей, характеризующихся максимальным

Строение кимперсайской (а), уфалейской (б) и новоаккермановской (в) моделей.

1 - суглинки, супеси  $N_2-Q$ ; 2 - глины, алевроиты серые, пестроцветные -  $P_3$ ; 3 - глины углистые, лигниты  $P_3$ ; 4 - алевроиты карстовые - К; 5 - карстовые оползни и оплывы различных зон коры выветривания; 6 - охры; 7 - бирбириты, окремненные, обохренные нонитронитизированные серпентиниты; 8 - нонитрониты, нонитронитизированные серпентиниты; 9 - выщелоченные обохренные кералитизированные серпентиниты с прожилками гарниерита и ревдинскита; 10 - дезинтегрированные выщелоченные серпентиниты; 11 - серпентиниты; 12 - сланцы углисто-кремнистые, хлоритовые, актинолитовые, оталькованные; 13 - мраморы; 14 - жильные породы с хлоритовой оторочкой; 15 - зоны нарушений, тектониты; 16 - дно карстовой депрессии; 17 - дно олигоценового вреза (провала); 18 - дно неоген-четвертичного вреза (провала); 19 - рудные тела; 20 - рудоносные лигниты. Профили выветривания: I - полный, II - переходный, III - сокращенный.

развитием определенных типов пород — охр, нонтронитов и др. Наиболее богатые руды возникают, как правило, в зоне нонтронитов, хотя известны месторождения, где основная руда концентрируется в иных зонах профиля. Очевидно, минеральный состав гипергенных руд является важнейшим показателем при выборе технологической схемы переработки сырья.

В практике работы наших никелевых предприятий принято выделять следующие технологические типы гипергенных никелевых руд: I — силикатные Ni-Co руды ( $SiO_2 > 45\%$ ), II — магнезиальные Ni-Co руды ( $MgO > 15\%$ ), III — железистые Ni-Co руды ( $Fe_2O_3 > 30\%$ ).

Рудные залежи в площадных корах выветривания характеризуются сравнительно невысокой концентрацией никеля (0,8–1,2%). Часто никелевому оруденению сопутствуют железные руды, легированные Ni, Co и V, а также высокие концентрации кобальта (0,08–0,15%). Форма рудных тел обычно не соответствует объему петрографических типов пород. Промышленные концентрации никеля возникают вблизи различного рода гипергенных барьеров, в качестве которых выступают дайки основных пород, зоны пересечения разломов, внешние границы массивов и пр.

Уфалейская модель характеризует контакто-карстовый тип гипергенных месторождений никеля, наиболее широко развитых на Среднем Урале в Уфалейском и Режском районах; именно на них зарождалась наша отечественная никелевая промышленность. Особенностью контакто-карстовых месторождений является приуроченность их к зонам своеобразного меланжа, представленного мелкими массивами ультрабазитов, блоками мраморов, углисто-глинисто-кремнистых, хлоритовых, тальковых и прочих сланцев. В ультрабазитах, практически полностью серпентинизированных, наблюдаются крупные ксенолиты вмещающих пород, для которых характерны интенсивная раздробленность, выщелачивание, сопровождающиеся явлениями контракции (см. рисунок).

Типичным примером контакто-карстового месторождения является Черемшанское, расположенное в Уфалейском районе Среднего Урала. Здесь ультраосновной массив в виде прерывистого пласта согласно залегает между мраморами и сланцами силура. Как массив, так и вмещающие его породы интенсивно дислоцированы. Наблюдаются многочисленные зоны дробления, мипонитизации, по которым в виде крупных крутопадающих языков кора выветривания проникает на сотни метров. Распределение запасов по типам руд на месторождении (в %): элювиальные руды — 60, карстовые дельювиальные образования — 37, лигниты — 2,3, склоновый дельювий — 0,7.

Для уфалейской модели характерны крайняя невыдержанность рудных залежей, резкое колебание содержания никеля (от десятых долей до 3–5% при среднем содержании в сухой руде 1,26% [2]), почти полное отсутствие в рудах кобальта (0,03–0,04%). Никелевые руды в карстах, как правило, высокомагнезиальны и всегда относительно богаты глиноземом. Их средний состав (в %):  $SiO_2$  — 38–44,  $Al_2O_3$  — 11–15,  $Fe_2O_3$  — 14–20,  $MgO$  — 11–20.

Новоаккермановская модель характеризует месторождения гипергенных руд никеля, приуроченные к линейно-трещинным корам выветривания. Последние развиты вдоль линейных зон дизъюнктивных нарушений, либо секущих, либо обрамляющих массив [3]. Протяженность таких зон иногда достигает нескольких километров. При этом рудные залежи, постепенно сокращаясь в мощности, иногда прослеживаются до глубины нескольких сотен метров. Зональность таких кор выветривания развивается перпендикулярно зоне проникновения растворов (см. рисунок). Здесь развиты преимущественно инфильтрационные силикатные руды, содержащие прожилки магнезиально-никелевых гидросиликатов (гарниерита, рединскита), а также хризопраза. При этом инфильтрацию соединений никеля можно предполагать как идущую сверху в составе фильтрующихся поверхностных вод, так и снизу путем проникновения термальных подземных вод по глубинным зонам дробления. Содержание никеля в рудах высокое и колеблется от 1,2 до 4%.

Во времена интенсивных поисков гипергенных никелевых руд (в 50–е, начале 60–х годов) на линейно-трещинный тип как промышленно-самостоятельный геологи не обращали внимания, будучи уверенными в том, что он не может содержать значительных запасов руды. В настоящее время, когда доказана рудоносность отдельных дизъюнктивных нарушений до глубин в сотни метров, новоаккермановский тип месторождений приобретает значительный интерес, особенно вблизи существующих никелевых предприятий, в частности на Среднем Урале и Украине. Поиски линейно-трещинных месторождений гипергенного никеля особенно перспективны в районах с расчлененным рельефом, где обнаружение площадных кор выветривания практически исключено.

Коротко охарактеризованные геологические модели известных в СССР гипергенных месторождений никеля послужили нам основой для детального рассмотрения истории развития и геологического строения наиболее перспективных регионов СССР — Урала и Казахстана, а также юга Западной Сибири.

Собственно Уральский хребет и Мугоджары достаточно хорошо опосредованы на гипергенный никель, и перспективными, на наш взгляд, являются только районы восточного склона Урала и Мугоджар, особенно в пределах Тургайского прогиба. Здесь под покровом мезозойских и кайнозойских отложений мощностью до 100–200 м протягиваются три пояса ультраосновных массивов. Эти пояса четко приурочены к зонам глубинных разломов (с запада на восток): Джетыгаринскому, Тоболо-Ливановскому и Опановскому.

Массивы Джетыгаринского и Тоболо-Ливановского поясов сформированы в силуре-раннем девоне и образуют единую офиолитовую ассоциацию с формацией натровых базальтоидов. Интрузивные тела, как правило, залегают среди вулканогенных образований, в которых нередко наблюдаются пачки терригенно-карбонатных и карбонатных пород. Форма ультрабазитовых интрузий линзовидная, пластообразная, размеры их различны (от 0,5 до 100 и более км<sup>2</sup>).

Опановский пояс ультрабазитов сформирован скорее всего в раннем карбоне. Интрузивные тела залегают среди терригенно-карбонатных толщ девона и раннего карбона и инертны по отношению к вмещающим породам. Возможно, внедрение ультрабазитов этого пояса происходило в форме протрузий. Размеры массивов колеблются от первых сотен до 40-60 км<sup>2</sup>.

Все ультраосновные массивы Зауралья относятся к дунит-гарцбургитовой формации, наиболее благоприятной для формирования гипергенных месторождений никеля. Наиболее вероятно здесь формирование месторождений кимперсайского и уфалейского типов.

На востоке Казахстана отчетливо обособляются два перспективных гипербазитовых пояса: Чарский и Экибастуз-Баянаульский. Чарский пояс расположен на территории Семипалатинской области и прослеживается на расстояние более 100 км при ширине до 10 км вдоль водораздела рр. Чар и Кызылсу. Далее к северу массивы ультраосновных пород выходят в береговых обнажения Иртыша (Горностаевский и др.). Пояс тяготеет к крупному глубинному разлому, рассекающему северо-восточное крыло Чарского антиклинория, входящего в состав Зайсанских герцинид. Ультраосновные массивы сложены дунитами, перидотитами, в меньшей мере пироксенитами и интенсивно серпентинизированы.

Экибастуз-Баянаульский пояс расположен на северо-востоке Казахской складчатой области и приурочен к осевой части Майкаин-Кызылитасского антиклинория казахстанских каледонид. Он протягивается почти на 200 км в северо-восточном направлении, погружаясь под покровные отложения Прииртышской впадины, где он прослежен на глубинах 50-100 м на расстояние около 50 км. В пределах пояса известно большое количество преимущественно мелких массивов интенсивно серпентинизированных перидотитов.

Никеленосность практически всех ультраосновных массивов Восточного Казахстана характеризуется развитием здесь линейных кор выветривания с оруденением новоаккермановского типа. Плошадные коры выветривания, может быть, и были когда-то распространены, но в настоящее время размыты. Что касается рудных залежей уфалейского типа, то они пока что известны только на севере Чарского пояса в обрамлении Горностаевского массива.

Другой характерной особенностью никелевых месторождений Восточного Казахстана является интенсивное окремнение, особенно поверхностных горизонтов, и в связи с этим - более низкое по сравнению с уральскими качество руд. Именно это обстоятельство в значительной мере определило повсеместное прекращение поисково-разведочных работ.

Итак, несмотря на худшие по сравнению с сульфидными рудами технологические показатели, экономика получения никеля и кобальта из гипергенных руд для СССР вполне благоприятна, что обусловлено более экономически выгодным размещением последних. Изменившаяся к настоящему времени конъюнктура настоятельно требует резкого увеличения прогнозно-поисковых работ на гипергенные месторождения никеля, в первую очередь в Зауралье и Вос-

точном Казахстане. Кроме того, необходима ревизия материалов по Украинскому шиту с целью выделения перспективных площадей на поиски руд новоаккермановского типа.

## ЛИТЕРАТУРА

1. К р и т е р и и прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Ред. Д.В. Рундквист. Л., 1986. 751 с.
2. М и х а й л о в Б.М. Рудоносные коры выветривания, Л., 1986. 238 с.
3. Э д е л ь ш т е й н И.И. Систематика гипергенных кобальт-железо-никелевых месторождений // ДАН СССР. 1986. Т. 291, № 1. С. 185-188.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие .....	3
Горбунов Г.И., Дистлер В.В., Чернышов Н.М. Общие закономерности размещения сульфидных медно-никелевых месторождений .....	5
Казанский В.И. Геотектоническая позиция сульфидных медно-никелевых месторождений .....	12
Попов В.Е., Терентьев В.М., Туганова Е.В. Главнейшие формационные типы медно-никелевых месторождений и закономерности их размещения .....	19
Голубков В.С., Додин Д.А., Вишневский А.Н., Шерман М.Л. Закономерности размещения никеленосных структур — основа стратегии регионального прогноза и поисков медно-никелевых месторождений .....	26
Баташев Е.В., Заскинд Е.С., Конкина О.М., Кочнев-Первухов В.И., Степанов В.К., Туровцев Д.М., Федоренко В.А. Проблемы прогнозирования медно-никелевых месторождений .....	36
Дистлер В.В., Горбунов Г.И. Генетические проблемы медно-никелевых месторождений .....	43
Золотухин В.В. Проблемы магматизма и генезиса сульфидного медно-никелевого оруденения на примере Норильского района .....	51
Гриненко Л.Н. Источники вещества и условия формирования сульфидных медно-никелевых руд по изотопно-геохимическим данным .....	57
Арутюнян Л.А., Петренко Г.В., Саргсян Г.О. Некоторые вопросы геохимии медно-никелевого рудогенеза в свете экспериментальных данных .....	66
Чекунов А.В., Оровецкий Ю.П., Нечаев С.В. Глубинный магматический диапиризм и поиски сульфидных медно-никелевых руд .....	77
Крестин Е.М. Новые данные, подтверждающие определяющую роль промежуточных магматических очагов в формировании медно-никелевых месторождений .....	78
Дюжиков О.А. Норильский никеленосный район в структуре Енисейско-Оленёкского рудного пояса .....	84
Тарасов А.В. Геодинамические условия формирования рудных объектов норильского типа .....	91
Евстигнеева Т.Л., Генкин А.Д. Платинометаллическая минерализация норильских медно-никелевых руд: природные и экспериментальные данные .....	98
Кунилов В.Е., Валетов А.В., Аршинов В.В. Изучение сульфидных медно-никелевых руд месторождений норильского типа на стадии их промышленного освоения .....	106

Павлоцкий В.М. Геологические особенности строения залежи богатых руд рудника „Таймырский“ .....	110
Мусатов Д.И., Гусев Г.С., Сорохтин О.Г., Тарновецкий Л.Л. Предварительная геодинамическая модель образования медно-никелевых месторождений Норильского района .....	114
Межеловский Н.В., Мусатов Д.И., Тарновецкий Л.Л., Черный Е.Д. Новая технология прогнозирования месторождений медно-никелевых руд в Норильском горнорудном районе на основе тектоники литосферных плит .....	122
Митрофанов Ф.П., Негруца В.З., Яковлев Ю.Н. Состояние исследований медно-никелевых месторождений Кольского полуострова и пути повышения их эффективности .....	126
Проскуряков В.В., Войцеховский С.Н. Актуальные задачи прогноза и поисков месторождений медно-никелевых руд в Карело-Кольском регионе .....	131
Загородный В.Г., Ефимов М.М., Радченко А.Т., Яковлев Ю.Н., Гончаров Ю.В., Астафьев Ю.А. Положение никеленосных формаций в геотектонической системе раннего докембрия северо-восточной части Балтийского щита и особенности локализации связанных с ними медно-никелевых руд .....	136
Федотов Ж.А., Скуфьин П.К., Жангуров А.А. Пикритобазальтовый вулканизм и его значение для оценки перспектив никеленосности рудного поля Печенги .....	144
Астафьев Ю.А., Горбунов Г.И., Гончаров Ю.В., Котов В.С., Корчагин А.У., Ланев В.С., Соколов С.В., Тельнов В.А., Филимонов Ю.И. Структурные условия локализации медно-никелевого оруденения в Печенгском никеленосном районе .....	152
Яковлев Ю.Н., Нерадовский Ю.Н., Яковлева А.К., Баржицкая С.М. Особенности состава сульфидных медно-никелевых руд Кольского полуострова и пути повышения их комплексного использования .....	158
Петров В.П., Нерадовский Ю.Н., Корчагин А.У., Грицай А.Л., Складнева Л.Ф., Косяков А.И., Жаров В.С., Трофименко Т.А. Проблемы освоения забалансовых медно-никелевых руд Печенгского района .....	165
Миц М.В., Колпаков Н.И., Шенкман Е.Я. Металлогеническое районирование и прогноз медно-никелевых руд на базе геодинамических моделей раннепротерозойских структур Кольского полуострова (перспективы поисков медно-никелевых руд в Печенгско-Аллареченском районе) .....	174
Тельнов В.А., Бартеев И.С. О промышленной никеленосности расслоенных ультрамафит-мафитовых комплексов Печенгско-Варзугской зоны .....	182
Рыбаков С.И., Кожевников В.Н., Кайряк А.И., Фурман В.Н., Федюк А.В., Светова А.И., Кулешевич Л.В., Горьковец В.Я., Раевская М.Б. Медно-никелевое оруденение в архейских коматитовых комплексах Карелии .....	188
Лавров М.М., Трофимов Н.Н., Ганин В.А., Морозов В.В. Рудоносность Бураковской расслоенной интрузии Болгурцев Н.Н., Боровко Н.Н., Варгин Г.П., Савин А.П., Свяженинов Ф.И. Основные направления повышения эффективности геофизических методов при поисках месторождений сульфидных медно-никелевых руд в Карело-Кольском регионе .....	197
	201

Чувардинский В.Г. Валунный метод поисков сульфидных медно-никелевых руд и перспективы его применения на Кольском полуострове .....	210
Чернышов Н.М., Молотков С.П., Галецкий Л.С., Каневский А.Я., Шербаков И.Б., Фомин А.Б. Перспективы никеленосности центральных и южных районов Восточно-Европейской платформы .....	217
Чернышов Н.М. Геолого-генетические типы медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива и модели поисково-оценочных комплексов при их прогнозе в условиях погребенного фундамента .....	224
Лазаренко Ю.Н., Комова В.В., Дейнега П.П., Гончаров В.Л. Перспективы поисков сульфидных никелевых руд в Среднем Приднепровье .....	230
Гребнев В.К., Когут К.В., Нечаев С.В., Костюченко В.С., Зюльцле В.В., Выходцев Н.К. Предпосылки обнаружения медно-никелевого оруденения в Среднем Побужье (Украинский шит) .....	235
Грудинин М.И., Демин И.А. Сульфидно-никелевая минерализация в ультраосновных и основных породах Байкало-Патомского нагорья .....	241
Шека С.А., Вржосек А.А., Чубаров В.М. Троктолит-кортландитовая никеленосная формация Дальнего Востока .....	247
Кондратьев А.В., Спиридонов Г.В., Кравцова О.А., Котов В.С., Соколов С.В., Кунилов В.Е. Состояние и задачи геолого-технологического изучения сульфидных медно-никелевых руд .....	255
Михайлов Б.М., Долгополов В.Ф., Литвин П.А., Фомичев Н.В., Эдельштейн И.И. Первоочередные задачи регионального прогнозирования гипергенных руд никеля в СССР .....	259

## РЕФЕРАТЫ

УДК 553.078.43.48

Горбунов Г.И., Дистлер В.В., Чернышов Н.М. Общие закономерности размещения сульфидных медно-никелевых месторождений // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 5-11.

Сульфидные медно-никелевые месторождения размещены только на тектонически активизированных архейско-протерозойских щитах (Балтийском, Канадском, Южно-Австралийском и Южно-Африканском) или на древних платформах и только в связи с дифференцированными массивами основных и ультраосновных пород. В СССР они расположены в четырех основных провинциях: Кольский полуостров, Норильский район, Северное Прибайкалье и ВКМ. Формирование и размещение месторождений определяется структурно-тектоническими обстановками двух основных типов: 1) региональными глубинными разломами и 2) зонами высокой динамической активности с тектоническим режимом, характерным для рифтовых зон. К первому типу относятся месторождения, связанные с ритмично-расслоенными дифференцированными интрузиями (Мончегорское на Кольском полуострове, месторождения Воронежской и Северо-Прибайкальской провинций). Второй тип представляют месторождения, связанные с вулкано-интрузивными комплексами в континентальных рифтовых зонах с мощным развитием основного вулканизма (месторождения Норильского и Печенгского районов). Приводится краткая характеристика рудных полей и классификация медно-никелевых месторождений в целом.

Табл. 1.

УДК 551.24 + 553.43.48

Казанский В.И. Геотектоническая позиция сульфидных медно-никелевых месторождений // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 12-18.

На основании новых данных о строении и эволюции континентальной земной коры рассмотрены геологическое строение и условия образования никеленосных провинций и рудных районов Балтийского, Западно-Австралийского и Канадского щитов. Подчеркнута роль рифтогенеза древней сиалической коры в локализации сульфидного медно-никелевого оруденения. Обсуждены некоторые дискуссионные вопросы тектоники и металлогении докембрия.

Библиогр. 7 назв.

УДК 553.481.43

Попов В.Е., Терентьев В.М., Туганова Е.В. Главнейшие формационные типы медно-никелевых месторождений и закономерности их размещения // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 19-25.

Выделяются два основных эволюционных ряда сульфидных медно-никелевых месторождений, приуроченных к вулканогенно-интрузивным и интрузивно-дайкиовым поясам.

Древние члены эволюционных рядов богаче никелем и связаны с коматиит-перидотитовой и оливинит-гаршбургитовой магматическими формациями, промежуточные (с преобладанием никеля над медью – медно-никелевая рудная формация) – с габбро-верлитовой и перидотит-пироксенит-норитовой формациями. Конечные члены рядов – никелево-медная рудная формация (оливинит-габбровая, перидотит-пироксенит-габбровая рудоносные формации) отличаются преобладанием меди над никелем и увеличенной ролью платиноидов. Подчеркивается исключительная приуроченность сульфидных медно-никелевых месторождений к разновозрастным структурам рифтогенного характера, а также связь крупнейших рудных районов с большим объемом извергнутых мантийных масс. Блоки земной коры, к которым приурочены месторождения, отличаются увеличенной мощностью „базальтового“ слоя, наличием высокоскоростного слоя –  $V_p = 7.3-7.8$  км/с – между корой и мантией. Намеченные тенденции могут быть использованы для выявления новых перспективных районов.

Библиогр. 7 назв. Ил. 1. Табл. 2.

УДК 553.481.43.041:555.243

Голубков В.С., Додин Д.А., Вишневский А.Н., Шерман М.Л. Закономерности размещения никеленосных структур – основа стратегии регионального прогноза и поисков медно-никелевых месторождений // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 26–36.

Намечены ведущие закономерности размещения никеленосных структур на примере Таймыро-Норильского региона, входящего в состав выделенного впервые Енисейско-Североземельского металлогенического пояса. Установлена унаследованность в развитии золото-никель-медного рудогенеза, апофеозом которого явилось формирование месторождений никеленосной Кетско-Норильской провинции. Изучение геодинамических обстановок, глубинного строения, магматизма и минерации с учетом степени выраженности выявленного рудного тренда позволило определить очередность опоскования никеленосных районов указанной провинции. Разработана стратегия регионального прогноза для никеленосных структур с поясовым размещением рудоносных массивов.

Библиогр. 11 назв. Ил. 2. Табл. 2.

УДК 551.26 + 553.061.2.43.48

Баташев Е.В., Заскинд Е.С., Конкина О.М., Кочнев-Первухов В.И., Степанов В.К., Туровцев Д.М., Федоренко В.А. Проблемы прогнозирования медно-никелевых месторождений // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 36–42.

Докембрийские и фанерозойские никеленосные структуры по вещественным и структурно-формационным характеристикам разделяются на зеленокаменные пояса, протогеосинклинали на гранито-гнейсовом основании, гранито-гнейсовые выступы, области протоктивизации, полициклические геосинклинали и области активизации платформенного чехла. Указанные структуры с никеленосными массивами разных формационных типов отличаются от однотипных с ними нерудоносных структур по ряду признаков, имеющих существенное значение для регионального прогнозирования.

Библиогр. 4 назв.

УДК 553.061.12.43.48

Дистлер В.В., Горбунов Г.И. Генетические проблемы медно-никелевых месторождений // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1989. С. 43–51.

Рассмотрены некоторые вопросы источников рудного вещества, структурно-тектонических обстановок рудогенеза, процессов магматической дифференциации и рудоотложения. Обращено внимание на устойчивую адекватность фазового и химического составов сульфидных парагенезисов в месторождениях и в соответствующих мантийных выплавках, пространственное совмещение разновозрастных и разноформационных месторождений, роль промежуточных магматических очагов, распределение рудных компонентов между сульфидами и силикатами.

Ил. 2.

УДК 553.062 (571.51)

Золотухин В.В. Проблемы магматизма и генезиса сульфидного медно-никелевого оруденения на примере норильского района // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 51–57.

Проблема генезиса сульфидного Cu-Ni оруденения норильского типа не может быть корректно решена в отрыве от ряда сопряженных вопросов магматизма северо-западной части Сибирской платформы. В статье последовательно рассматриваются: появление на платформе магнезиальной базитовой магмы, возникновение дифференцированных гипербазит-базитовых интрузивов, условия проявления в них горизонтов основных пегматоидов, причины связи с ними сульфидного Cu-Ni оруденения, главные его особенности. Совокупность известных данных свидетельствует, по мнению автора, в пользу гипотезы о высокотемпературном инфильтрационно-метасоматическом генезисе сульфидного оруденения с участием процесса сульфуризации.

Библиогр. 27 назв.

УДК 550.42:546.22

Гриненко Л.Н. Источники вещества и условия формирования сульфидных медно-никелевых руд по изотопно-геохимическим данным // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 57–66.

Обобщены результаты изучения распределения изотопных отношений и содержаний серы в базит-гипербазитах различной степени рудоносности (безрудные, сульфидоносные непродуктивные и продуктивные) и связанных с ними рудах из различных никеленосных провинций СССР (северо-запад Сибирской платформы, северо-запад Кольского полуострова, ВКМ). Выявлены различия в изотопном составе, содержаниях серы и характере вариаций этих величин в различных типах интрузий. Показано, что образование промышленных месторождений сульфидных медно-никелевых руд связано с сульфуризацией магмы концентрированной фазой коровой серы в промежуточном очаге. Предложены модели сульфидообразования в конкретных никеленосных провинциях.

Библиогр. 8 назв. Ил. 7.

УДК 553.21/24 + 553.48

Арутюнян Л.А., Петренко Г.В., Саргсян Г.О. Некоторые вопросы геохимии Cu-Ni рудогенеза в свете экспериментальных данных // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 66–77.

Рассмотрены вопросы поведения рудных элементов и содержащих их фаз на отдельных этапах магматического Cu-Ni рудогенеза. Расчеты никеленосности оливинов, фракционирующих из пикритобазальтового расплава, выявляют относительное выполаживание кривой зависимости  $Ni_{01} - Fe_{01}$  по мере возрастания количества сульфидной „взвеси“ в системе. Высокие (46–95°) краевые углы смачивания поверхности силикатов сульфидным расплавом указывают, что последний в ходе выплавления базитовых магм будет стремиться стягиваться в капли на стыках силикатных зерен. Поведение Cu-Ni рудных ассоциаций в гидротермально-метаморфической обстановке определяется закономерностями растворения ведущих сульфидов. Полученные экспериментально усредненные коэффициенты мобилизации элементов Cu-Ni сульфидных руд в гидротермальной хлоридной обстановке указывают на уменьшение их подвижности в последовательности Mn-Zn-Cu-Co-Ni и Te-Se.

Библиогр. 24 назв. Ил. 7. Табл. 2.

УДК 551.24.43.48

Чекунов А.В., Оровецкий Ю.П., Нечаев С.В. Глубинный магматический диапиризм и поиски сульфидных медно-никелевых руд // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 77–78.

Обосновывается связь сульфидных медно-никелевых месторождений с мантийными диапирами и предлагается использовать характерные трансформные геофизические аномалии, сопровождающие такие диапиры, в качестве одного из поисковых критериев.

УДК 553.061.2.43.48

Е.М. Крестин. Новые данные, подтверждающие определяющую роль промежуточных очагов в формировании медно-никелевых месторождений // Геология медно-никелевых месторождений. СССР. Л.: Наука, 1990. С. 78–84.

За последние годы для многих никеленосных районов в нашей стране и за рубежом доказаны многофазное становление никеленосных интрузивов и самостоятельное внедрение рудоносных дифференциатов в виде фаз и субфаз, связываемое с деятельностью промежуточных магматических очагов. Последние часто проявляются интенсивными гравитационными аномалиями.

Библиогр. 26 назв.

УДК 553.062 : 553.261 (571.51)

Дюжиков О.А. Норильский никеленосный район в структуре Енисейско-Оленёкского рудного пояса // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 84–91.

Показана приуроченность Норильского района к Приенисейскому мегаблоку, составляющему крайнюю западную часть Енисейско-Оленёкского рудного пояса. Последний рассматривается как южная фланговая зона регионального внутриконтинентального рифта. Впервые никеленосный магматизм Норильского района показан в связи с ранней фазой рифтогенеза, а повышенная флюидно-магматическая проницаемость и формирование месторождений объясняются положением района в области торцевого сочленения рифтовых систем. Значительная роль в формировании рудных узлов и месторождений отводится латеральной миграции гипербазит-базитового никеленосного расплава с последующим субвертикальным перемещением сульфидоносных магм в зонах сопряжения разноориентированных разломов.

Библиогр. 12. Ил. 2.

272

УДК 551.2

Гарасов А.В. Геодинамические условия формирования рудных объектов норильского типа // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 91–98.

Наиболее характерным структурным элементом Тунгусской синеклизы является Тембенчинская впадина, развитие которой во многом определяло специфику интрузивного магматизма и минерации в ее периферических частях, особенно в северной, наиболее погруженной. Интегрированные геодинамические условия выявлены посредством исследования координационных тектонических зон (КТЗ). Норильский медно-никелевый район формировался в условиях максимального тангенциального сжатия с севера, запада и востока; в Вилуйско-Котуйской и Южно-Таймырской металлогенических зонах преобладало однонаправленное тангенциальное сжатие. Участки пересечения КТЗ были наиболее активными для проявления магматизма и рудообразования. Выделены потенциально перспективные площади. На основе „хордовой модели“ определены глубина возможной локализации никеленосных интрузивов (до 5 км), промежуточных очагов (5–7 км) и угол наклона магмовыводящих каналов (40–43°).

Библиогр. 13 назв. Ил. 1.

УДК 549.27:553.491

Евстигнеева Т.Л., Генкин А.Д. Платинометалльная минерализация норильских медно-никелевых руд: природные и экспериментальные данные // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 98–106.

Рассмотрены особенности морфологии и состава различных сростаний минералов платиновых металлов (МПМ) в медно-никелевых рудах норильских месторождений. Установлены типичные ассоциации МПМ для вкрапленных, сплошных и брекчиевидных руд; выделены три типа ассоциаций, отражающих процесс формирования МПМ в медно-никелевых рудах.

Библиогр. 10 назв. Ил. 3. Табл. 4.

УДК 553.07.43.48

Кунилов В.Е., Валетов А.В., Аршинов В.В. Изучение сульфидных медно-никелевых руд месторождений норильского типа на стадии их промышленного освоения // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 106–110.

В процессе освоения норильских месторождений ведется геолого-структурное и геолого-технологическое картирование рудных тел, изучение горно-технических условий отработки руд. Во многих случаях установлен весьма приближенный характер увязки отдельных частей месторождений и рудных залежей по скважинам детальной разведки главным образом из-за недостаточного учета тектонических деформаций. Получены прямые фактические материалы о взаимоотношениях интрузивов и оруденения.

Ил. 2.

УДК 553.07.43.48

Павлоцкий В.М. Геологические особенности строения залежи богатых руд рудника Таймырский // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1989. С. 110–113.

При разведке залежи богатых пирротинных медно-никелевых руд предпринята попытка выделения интервалов с минимальной изменчивостью содержаний компонентов.

273

Выявлены тесная связь размера зерен пирротина с долей силикатного материала, устойчивость среднего размера зерна пирротина на выделяемых интервалах, построена текстурно-структурная классификация богатых пирротиновых руд. Сделан вывод о более позднем образовании руд с наибольшим размером зерен пирротина, о широком развитии процесса пегматитизации руд. Формирование прожилково-вкрапленного оруденения происходило на более раннем по отношению к богатым рудам этапе.

Библиогр. 2 назв.

УДК 551.2

Мусатов Д.И., Гусев Г.С., Сорохтин О.Г., Тарновецкий Л.Л. Предварительная геодинамическая модель образования медно-никелевых месторождений Норильского района // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 114-122.

Разработана модель механизма образования месторождений сульфидных медно-никелевых руд в Норильском районе на базе теории тектоники литосферных плит. Модель указывает на вероятные источники основных полезных компонентов и летучих, обеспечивших экстрагирование и перевод металлов в расплав и (или) во флюид; показывает механизм образования системы высокой проницаемости и перемещения в ней расплавов и (или) флюидов; указывает на условия концентрации и рудоотложения. Модель в отличие от конкурирующих допускает эмпирическую проверку в процессе полевых и лабораторных исследований и может служить основой для разработки методологии прогноза месторождений норильского типа.

Библиогр. 19 назв. Ил. 3.

УДК 551.2 + 553.078

Межеловский Н.В., Мусатов Д.И., Тарновецкий Л.Л., Черный Е.Д. Новая технология прогнозирования месторождений медно-никелевых руд в Норильском горнорудном районе на основе теории тектоники литосферных плит // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 122-126.

Новая технология прогноза месторождений сульфидных медно-никелевых руд норильского типа на базе теории тектоники литосферных плит разработана с использованием системного подхода (от общего к частному): предварительный геодинамический анализ территории и обстановок, разработка моделей района и месторождения, эмпирическая проверка моделей в процессе исследований и эксперимента, разбраковка и уточнение моделей, локальный прогноз перспективных участков и проверка прогнозных следствий, открытие месторождения.

УДК 550.8 + 553.43.48

Митрофанов Ф.П., Негруца В.З., Яковлев Ю.Н. Состояние исследований медно-никелевых месторождений Кольского полуострова и пути повышения их эффективности // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 126-131.

Подчеркнуто, что для повышения эффективности прогнозных оценок необходимы разработка единой формационной типизации никеленосных магматических комплексов, обоснованных критериев их промышленной рудоносности, вопросов генезиса месторождений, создание надежных информативных геологических карт.

УДК 550.8 + 553.43.48

Проскуряков В.В., Войцеховский С.Н. Актуальные задачи прогноза и поисков месторождений медно-никелевых руд в Карело-Кольском регионе // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 131-136.

Проведен ретроспективный анализ основных результатов геолого-разведочных и научно-исследовательских работ на никель в Карело-Кольском регионе. Определены направления работ ПГО «Севзапгеология» на XII пятилетку и последующие годы. Намечены наиболее актуальные задачи, стоящие перед научно-исследовательскими организациями. Подчеркивается, что главные усилия необходимо сосредоточить в области локального прогнозирования. Рассмотрены вопросы координации и кооперации производственных и научно-исследовательских работ; при этом показано, что в организационных вопросах сохраняется большой резерв повышения эффективности прогноза и поисков медно-никелевых месторождений.

УДК 551.24.263.038 + 553.078.48

Загородный В.Г., Ефимов М.М., Радченко А.Т., Яковлев Ю.Н., Гончаров Ю.В., Астафьев Ю.А. Положение никеленосных формаций в геотектонической системе раннего докембрия северо-восточной части Балтийского щита и особенности локализации связанных с ними медно-никелевых руд // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 136-143.

В кольском докембрии выделяются четыре возрастные группы никеленосных формаций: лопийская, поздней, или постлопийская, сумийская и калевийская, однако установленным можно считать возраст только последних. Все они сосредоточены в западной, северо-западной частях Кольского полуострова. В размещении их различаются две обстановки: 1) никеленосные интрузивы входят в состав супракrustальных комплексов, слагающих мобильные пояса; 2) интрузивы приурочены к краевым и оперяющим разломам в фундаменте мобильных поясов и зон, возможно к тектоническим швам разновозрастных блоков. Каждая группа никеленосных формаций характеризуется специфическими особенностями размещения медно-никелевого оруденения.

Библиогр. 15 назв. Табл. 1.

УДК 552.323.5/6 (470.21)

Федотов Ж.А., Скуфьин П.К., Жангуров А.А. Пикритобазальтовый вулканизм и его значение для оценки перспектив никеленосности рудного поля Печенги // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 144-152.

Показано, что формирование вулканогенной толщи маттерт, завершающей разрез печенгского осадочно-вулканогенного комплекса, начиналось с взрывных извержений пикритобазальтовой магмы через вулканические аппараты центрального типа, на смену которым пришли трещинные излияния толеитобазальтовой магмы. Подтверждена геологическая и петрохимическая самостоятельность пикритобазальтовой и толеитобазальтовой исходных магм. Показано принципиальное сходство дифференциации пикритобазальтовой магмы в вулканических покровах и в никеленосных интрузивах. Вместе с тем выявлены признаки, позволяющие отрицать перспективность на обнаружение медно-никелевого оруденения как дифференцированных вулканических покровов, так и корневых зон пикритобазальтовых вулканов.

Библиогр. 6 назв. Ил. 4. Табл. 2.

Миц М.В., Колпаков Н.И., Шенкман Е.Я. Металлогеническое районирование и прогноз медно-никелевых руд на базе геодинамических моделей раннепротерозойских структур Кольского полуострова (перспективы поисков медно-никелевых руд в Печенгско-Аллареченском районе) // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 174-182.

Предложены два варианта геодинамической модели формирования Печенгско-Варзугской зоны (как палеорифта или офiolитового шва) с соответствующей позицией никеленосных базит-гипербазитов (как первично интрузивных тел или отторженцев океанической литосферы) и рассмотрены подходы к прогнозированию потенциально-рудноносных площадей. С учетом размещения других никеленосных объектов проведено металлогеническое районирование региона с выделением в Кольской провинции областей, подобластей, рудных зон и полей.

Библиогр. 12 назв. Ил. 3.

## УДК 553.21.48

Тельнов В.А., Бартенев И.С. О промышленной никеленосности расслоенных ультрамафит-мафитовых комплексов Печенгско-Варзугской зоны // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 182-188.

Рассмотрены физико-химические условия формирования сульфидной минерализации в крупных расслоенных ультрамафит-мафитовых комплексах Кольского полуострова - Панско-Федоровотундровском, Мончетундровском, Луостари. Показано, что исходные магмы этих комплексов, отвечающие по составу высокоглиноземистому оливиновому толеиту, содержали повышенные концентрации никеля, меди и кобальта (в сопоставлении с кларками аналогичных пород, по А.П. Виноградову) и были насыщены серой. Судя по характеру экзоконтактных преобразований, температура расплава была не ниже 1600 °С, что обеспечивало отделение сульфидной жидкости от силикатной и осаждение ее под действием силы тяжести. Рассмотрено поведение рудогенных элементов в процессе дифференциации пород и сделан вывод о промышленной никеленосности плутонов.

Библиогр. 12 назв. Ил. 1. Табл. 2.

## УДК 551.71 + 553.481.43 (470.22)

Рыбаков С.И., Кожевников В.Н., Кайряк А.И., Фурман В.Н., Федюк А.В., Светова А.И., Кулешевич Л.В., Горьковец В.Я., Раевская М.Б. Медно-никелевое оруденение в архейских коматитовых комплексах Карелии // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 188-197.

Коматиты в архейских зеленокаменных поясах Карелии установлены в ряде локальных структур: Хаутаваарской, Койкарской, Совдозерской, Палаламбинской, Тикшезерской, Остерской, Каменнозерской, Костомукшской. Коматиты находятся в тесной ассоциации с базальтами на одном, иногда на двух стратиграфических уровнях. Мощности коматитовых пачек 400-600 м. В фациальном составе установлены массивные и подушечные лавы, туфы с горизонтами сульфидоносных вулканогенно-осадочных пород. С базальт-коматитовыми комплексами выявлены три генетических типа сульфидного оруденения: стратиформное вулканогенно-осадочное (серноколчеданное), магматогенное (медно-никелевое) и метаморфогенно-гидротермальное (медно-никелевое).

Библиогр. 7 назв. Ил. 4.

## УДК 553.43 + 553.48 (470.21)

Астафьев Ю.А., Горбунов Г.И., Гончаров Ю.В., Котов В.С., Корчагин А.У., Ланев В.С., Соколов С.В., Тельнов В.А., Филимонов Ю.И. Структурные условия локализации медно-никелевого оруденения в Печенгском никеленосном районе // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 152-158.

Рассмотрены главные черты строения Печенгской структуры и рудного поля, роль плективных и дизъюнктивных элементов в размещении никеленосных интрузивов и связанного с ними медно-никелевого оруденения. В Печенгском поле выделены три рудных узла, характеризующиеся рядом специфических особенностей строения. На примере Киердживорского разлома показана роль диагональных разрывных нарушений в локализации оруденения, рассмотрена блоково-чешуйчатая модель Пильгуярвинского массива, обсуждены перспективы глубоких горизонтов выделенных рудных узлов. Намечены перспективные площади в пределах третьего и четвертого покровов вулканитов и на восточном фланге Печенгской структуры в продуктивной толще.

Библиогр. 5 назв. Ил. 3.

## УДК 549. + 553.43 + 622.7 (470.21)

Яковлев Ю.Н., Нерадовский Ю.Н., Яковлева А.К., Баржиккая С.М. Особенности состава сульфидных медно-никелевых руд Кольского полуострова и пути повышения их комплексного использования // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 158-165.

Рассмотрены основные черты сходства и различия в составе медно-никелевых руд Кольского региона и других никеленосных провинций. На примере оливина, пироксенов и хромшпинелидов вкрапленных руд прослежены различия, обусловленные параметрами магматического этапа. В месторождениях Печенги отмечено "слоевое" распределение сульфидной вкрапленности, а в залежах богатых руд выявлены два типа зональности. Приведены данные о главных причинах потери никеля в процессе переработки руд и реальных путях повышения полноты и комплексности их использования.

Библиогр. 7 назв. Табл. 4.

## УДК 553.43.48

Петров В.П., Нерадовский Ю.Н., Корчагин А.У., Грицай А.Л., Складнева Л.Ф., Косяков А.И., Жаров В.С., Трофименко Т.А. Проблемы освоения забалансовых медно-никелевых руд Печенгского района // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 165-174.

Роль бедных (забалансовых) сульфидных медно-никелевых руд как перспективного сырья горнодобывающих предприятий непрерывно возрастает, но в настоящее время не решен ряд геологических задач для их эффективного использования. В публикации обсуждаются некоторые аспекты геологического строения, вещественного состава и технологии переработки бедных вкрапленных руд Печенгского рудного поля.

Библиогр. 4 назв. Ил. 3. Табл. 3.

УДК 552.321 5/6:553.461:553.481(470.22)

Лавров М.М., Трофимов Н.Н., Ганин В.А., Морозов В.В. Рудоносность Бураковской расслоенной интрузии // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 197-201.

Приводятся характеристика и условия локализации медно-никелевой и хромитовой минерализации в крупнейшем на Балтийском щите Бураковском массиве, представляющем формацию докембрийских (2450 млн. лет) расслоенных перидотит-габбро-норитовых интрузий консолидированных областей.

Библиогр. 4 назв.

УДК 550.83:553.48

Болгурцев Н.Н., Боровко Н.Н., Варгин Г.П., Савин А.П., Свияженинов Ф.И. Основные направления повышения эффективности геофизических методов при поисках месторождений сульфидных медно-никелевых руд в Карело-Кольском регионе // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 201-209.

Изложены основные направления повышения эффективности (главным образом глубинности) геофизических методов, применяемых при поисках месторождений медно-никелевых руд в Карело-Кольском регионе: применение новых методов и аппаратуры, оптимизация комплекса электроразведочных методов и методики наблюдений, усовершенствование методики истолкования данных, в том числе - в методе МПП (крутопадающие объекты, раздельное изучение индукционного и поляризационного эффектов по кривым ПП); совершенствование комплекса скважинных методов (низкочастотные индукционные методы с аппаратурой „Синус“, электромагнитная корреляция и др.).

Библиогр. 3 назв. Ил. 4.

УДК 550.81

Чувардинский В.Г. Валунный метод поисков сульфидных медно-никелевых руд и перспективы его применения на Кольском полуострове // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 210-217.

Кристаллическое основание Кольского полуострова на 90 % перекрыто четвертичными, преимущественно валунными, отложениями. В этих условиях наиболее простым и эффективным является валунный метод поисков рудоносных массивов. Посредством валунных поисков можно оперативно проводить разведку геофизических и геохимических аномалий, связываемых с никеленосными телами, оконтуривать и выявлять массивы основных и ультраосновных пород с медно-никелевым оруденением. Предложена новая методика валунных поисков сульфидных медно-никелевых руд.

Библиогр. 9 назв. Ил. 2.

УДК 552.321:553.48.43(470.477)

Чернышов Н.М., Молотков С.П., Галецкий Л.С. и др. Перспективы никеленосности центральных и южных районов Восточно-Европейской платформы // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 217-224.

Приведена геолого-структурная и петролого-геохимическая характеристика и оценка перспектив на руды никеля, меди, кобальта разнотипных по формационной

278

принадлежности ультрамафитов и мафитов ВКМ и УЩ, формирующихся в эндогенных режимах: 1) раннеархейской нуклеократонизации (слабодифференцированный коматит-базальтовый и перидотит-пироксенит-габбро-норитовый типы); 2) позднеархейского континентального рифтогенеза (коматит-базальтовый и дунит-гарбургитовый зеленокаменных поясов); 3) послеперидотит-габбро-норитовый, верлит-габбро-анортозитовый). Библиогр. 18 назв. Ил. 3.

УДК 552.32:553.48/43:553.4.08(470.324)

Чернышов Н.М. Геолого-генетические типы медно-никелевых месторождений Воронежского кристаллического массива и модели поисково-оценочных комплексов при их прогнозе в условиях погребенного фундамента // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 217-224.

Наиболее важные в промышленном отношении сульфидные медно-никелевые месторождения ВКМ принадлежат к двум геолого-генетическим типам: 1) собственно магматическим медно-никелевым в ультрамафитах (мамонский тип) и 2) регенерированным сульфидным медно-никелевым в норитах (еланский тип). Эти типы месторождений различаются по составу, содержанию Ni, Cu, Co, сопутствующим им элементам, минеральным парагенезисам, изотопному составу серы и ряду других признаков, выступающих в качестве определяющих элементов моделей поисково-оценочных комплексов при крупномасштабном прогнозе и поисках руд мамонского и еланского типов.

Библиогр. 9 назв.

УДК 553.481.43(477.6)

Лазаренко Ю.Н., Комова В.В., Дейнега П.П., Гончаров В.Л. Перспективы поисков сульфидных никелевых руд в Среднем Приднепровье // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 230-234.

Методом аналогии с рядом районов Советского Союза (Печенгским, Аллареченским, Норильским) и Западной Австралии (месторождения Камбалда, Маунт-Кейт) показана перспективность Украинского щита и Среднего Приднепровья на сульфидные медно-никелевые руды. Для сравниваемых месторождений отмечается близость региональных, структурно-тектонических, магматических, петролого-петрохимических факторов, а также минералогического состава руд и парагенетических ассоциаций. Прямым поисковым признаком является сульфидная медно-никелевая минерализация в ряде базит-гипербазитовых массивов Среднего Приднепровья, которую можно отнести к камбалдинскому (аллареченскому) или печенгскому типам.

УДК 553.43.48

Гребнев В.К., Когут К.В., Нечаев С.В., Костюченко В.С., Зюльцле В.В., Выходцев Н.К. Предпосылки обнаружения медно-никелевого оруденения в Среднем Побужье (Украинский щит) // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 235-240.

Перспективы поисков медно-никелевых руд в Побужье связываются с никеленосными образованиями коматит-базальтовой формации в сохранившихся фрагментах докембрийских рифтогенных зон, а также с магnezияльными и магnezияльно-железо-кальциевыми метасоматитами с мышьяково-кобальто-никелевым типом оруденения.

Библиогр. 7 назв. Табл. 1.

279

УДК 553.43.48

Г р у д и н и н М.И., Д е м и н И.А. Сульфидно-никелевая минерализация в ультраосновных и основных породах Байкало-Патомского нагорья // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1989. С. 241-247.

Изученная сульфидно-никелевая минерализация по составу, химизму и особенностям распределения сходна с оруденением в Довыренском и Чайском массивах, что позволяет благоприятно оценивать перспективы выявления расслоенных массивов довыренского типа в Байкало-Патомском нагорье.

Библиогр. 14 назв. Ил. 3. Табл. 1.

УДК 552.321.1

Щ е к а С.А., В р ж о с е к А.А., Ч у б а р о в В.М. Троктолит-кортландитовая никеленосная формация Дальнего Востока // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 247-255.

Приводится минералого-петрологическая характеристика никеленосных кортландитов. Кортландитом предлагается называть перидотит только с магматическим (автометасоматическим) амфиболом, являющийся химическим аналогом меланократового троктолита. От троктолитовых аналогов офиолитовых комплексов интрузии Камчатки отличаются повышенной калиевостью, сульфидной рудоносностью (в отличие от окисной в офиолитах), ассоциацией с биотит-плагноклазовыми (почти без калишпата) адамеллитами. Специфика термодинамических условий кристаллизации кортландитов Камчатки заключается в растянутости интервала ликвидус-солидус (745-1150 °С), повышенной глубинности (6-8 кбар) и низкой ( $10^{-21-23}$  атм) фугитивности кислорода. Последнее обусловило широкое развитие в породах графита, карбидов, ильменита, восстановленных шпинелей.

Библиогр. 13 назв. Ил. 2. Табл. 1.

УДК 553.48 : 662.7

К о н д р а т ь е в А.В., С п и р и д о н о в Г.В., К р а в ц о в а О.А., К о т о в В.С., С о к о л о в С.В., К у н и л о в В.Е. Состояние и задачи геолого-технологического изучения сульфидных медно-никелевых руд // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 255-258.

На месторождениях Печенгского рудного поля выделены геолого-технологические типы и сорта руд, проведена их геометризация в рудных телах, определены наиболее эффективные способы переработки. Частично внедренная система управления качеством сырья способствовала стабилизации технологического режима и повышению извлечения никеля в концентрат. Определены задачи в области геолого-технологической подготовки руд на месторождениях Талнахского рудного узла.

УДК 553.48.67

М и х а й л о в Б.М., Д о л г о п о л о в В.Ф., Л и т в и н П.А., Ф о м и ч е в Н.В., Э д е л ь ш т е й н И.И. Первоочередные задачи регионального прогнозирования гипергенных руд никеля в СССР // Геология медно-никелевых месторождений СССР. Л.: Наука, 1990. С. 259-265.

На основе трех типов геологических моделей гипергенных месторождений никеля (кимберсайской, уфалейской, новоаккермановской) рекомендуются проведение прогнозно-поисковых работ в Зауралье и Восточном Казахстане, а также ревизия материалов по Украинскому шиту с целью изучения линейнотрещинных кор выветривания.

Библиогр. 3 назв. Ил. 3.