

МЕТАЛЛОГЕНИЯ НИКЕЛЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЕГО СЫРЬЕВОЙ БАЗЫ В РОССИИ

Проведен анализ металлогенических особенностей проявления никеля в различных геологических обстановках, показано мировое состояние его минерально-сырьевой базы (МСБ) и перспективы дальнейшего развития в России.

Ключевые слова: металлогения, никель, геологические обстановки проявления, минерально-сырьевая база, перспективы, Россия.

The paper deals with analysis of metallogenic features of nickel manifestation in different geological setting and shows the status of the mineral base of this metal of potential for the development of the nickel industry in Russia.

Keywords: metallogeny, nickel, geological setting, mineral base, prospects of the search, Russia.

Темпы роста производства и потребления никеля в XXI в. — веке технического прогресса неуклонно возрастают, что связано с ведущей ролью этого металла в развитии базовых отраслей промышленности многих стран мира.

Необходимость удовлетворения растущего спроса на никель требует ускоренного внедрения инновационных технологий для расширенного его производства и прироста ресурсов [15]. Решению этой проблемы с целью прогнозирования новых никеленосных объектов может оказать существенную помощь прогнозно-металлогенический анализ, на протяжении многих лет традиционно развиваемый во ВСЕГЕИ [20].

Сегодня большое внимание при прогнозировании уделяется не только региональной и геотектонической [17], но и отраслевой (пометалльной) металлогении [16].

С целью определения перспектив дальнейшего развития сырьевой базы никеля в России нами обобщены мировые данные по его геологии и металлогении. Созданная в 2006 г. прогнозно-металлогеническая карта РФ масштаба 1 : 5 000 000, представляющая собой синтез многолетних исследований коллектива ВСЕГЕИ, построена по новой методике на количественной основе (с учетом прогнозных ресурсов отдельных видов минерального сырья) и сопровождается комплектом пометалльных карт (в том числе на никель) с оценкой продуктивности отдельных площадей [19].

Совокупность полученных материалов позволяет выделить геологические и металлогенические особенности никелевых проявлений, важные для прогнозных оценок. Они включают характеристику структурно-вещественных никеленосных комплексов, сформировавшихся в различных геологических обстановках (табл. 1, 2).

Несмотря на многообразие никелевых проявлений, мировую МСБ никеля обеспечивают сегодня

лишь два главных типа промышленных месторождений:

— сульфидные медно-никелевые, магматические;

— силикатные кобальт-никелевые, гипергенные.

Первые являются особенно ценным сырьем, поскольку, помимо никеля, содержат значительное количество и других полезных компонентов — медь, кобальт, металлы платиновой группы, золото, серебро, селен, теллур.

Руды месторождений второго типа беднее по набору сопутствующих компонентов и, кроме никеля, содержат повышенные количества только кобальта (в отдельных случаях платиноидов и меди), однако они характеризуются сравнительно низкой себестоимостью благодаря открытым разработкам приповерхностных кор выветривания [26].

Распределение запасов никеля между этими двумя типами руд в мировом балансе характеризуется заметным преобладанием гипергенных типов: на их долю приходится 63% общих запасов мирового никеля, в то время как на долю сульфидного никеля не более 37% [2, 7]. Из руд второстепенных месторождений (кобальт-арсенидных, медно-колчеданных и др.) никель извлекается в очень небольших количествах — не более 0,2–0,3% мировых объемов.

Можно констатировать, что глобальный вектор современного развития МСБ никеля склоняется в сторону гипергенных геолого-промышленных типов.

Общие мировые запасы никеля оцениваются сегодня в 162 млн т [21], при этом ежегодно в мире производится и потребляется более 1 млн т этого металла. Его добыча ведется в 26 странах, главные производители сульфидного никеля Австралия, Россия, Канада, а гипергенного Новая Каледония, Индонезия, Куба.

Металлогенические особенности сульфидных медно-никелевых месторождений

Рудная формация (формационный тип)	Рудоносная формация	Рудоконтролирующие структуры	Геодинамическая обстановка	Рудные районы, пояса (рудные поля, месторожде- ния)	Страна
Коматиитовый структурно-вещественный комплекс					
Никель-сульфидная пироксенит-перидотитовая коматиитовая вулканогенная (камбалдинский тип)	Коматиит-базальтовая	Зеленокаменные пояса древних кратонов (AR)	Основания континентальных литосферных плит (фундамент кратонов)	Пояс Норсмен-Уилуна (Камбалда)	Австралия
Никель-сульфидная дунитовая коматиитовая интрузивная (маунт-кейтский тип)	Коматиит-базальтовая			Район Маунт-Кейт Район Шангани Пояс Абитибби	Австралия Зимбабве Канада
Никель-сульфидная перидотит-дунитовая коматиитовая интрузивная (канадский тип)	Коматиитовая ультрамафитовая	Зоны проторифтогенеза, шовные пояса кратонизированных щитов (PR)	Реактивированные рифты кратонной стадии	Пояс Сьюперитор-Циркум, Пояс Кейп-Смит, Пояс Томпсон, Район Реглан	Канада
Ферропикритовый структурно-вещественный комплекс					
Медно-никелевая сульфидная габбро-перидотитовая (печенгский тип)	Вулкано-плутоническая мафит-ультрамафитовая	Эпикратонные прогибы, рифтогенные окраинноконтинентальные пояса (PR)	Области рассеянного рифтогенеза	Пояс Имандра-Варзугский (Печенга) Пояс Коталахти (Хитура), Пояс Кюльмякоски (Ваммала)	Россия Финляндия
Стратиформный структурно-вещественный комплекс					
Медно-никелевая сульфидная перидотит-пироксенит-габброноритовая (бушвельдский тип)	Ультрамафит-мафитовая расслоенных интрузий	Континентальные рифты (AR, PR)	Протоактивизация внутренних областей континентов	Бушвельд Великая Дайка Стиллуотер	ЮАР Зимбабве США
Медно-никелевая сульфидная гранофир-диорит-норитовая (садберийский тип)	Мафитовая расслоенных интрузий	Крупные лополиты (PR)	Зоны протоактивизации щитов	Район Садбери (Фруд, Стоби)	Канада
Платобазальтовый структурно-вещественный комплекс					
Медно-никелевый сульфидный габбро-пикрит-долеритовый (норильский тип)	Мафитовая интрузивная	Зоны тектономагматической активизации краевой части древних платформ (Pz-Mz)	Внутриплитный трапповый магматизм	Норильско-Харалахский район (Норильск I, Талнах, Октябрьское) Провинция Кару (Инсизва) Пояс Дулут	Россия ЮАР США

Основные запасы никеля РФ сконцентрированы в Норильском районе Красноярского края — 65,7, в Мурманской области — 17,4 и на Урале — 8,5%.

Сульфидные медно-никелевые месторождения (рис. 1) ассоциируют с мафит-ультрамафитовыми интрузиями [8, 9, 12]:

- в докембрийских зеленокаменных поясах (коматиитовый тип);
- в рифтогенных докембрийских структурах щитов (ферропикритовый тип);
- в рифтогенных докембрийских структурах платформ (стратиформный тип);

— в областях фанерозойской тектоно-магматической активизации краевой части платформ (платобазальтовый тип).

С древнейшими архей-протерозойскими коматиитами зеленокаменных поясов связаны крупные промышленные сульфидно-никелевые месторождения Австралии, Канады, Южной Африки. Их можно подразделить по времени формирования на архейские (Западная Австралия, Зимбабве) и протерозойские (пояса Томпсон и Кейт-Смит в Канаде). По составу никеленосные коматииты характеризуются развитием как вулканогенных, так и интрузивных фаций ультраосновного состава. Содержание никеля в коматиитах высокое — в среднем 4,

Металлогенетические особенности силикатных кобальт-никелевых гипергенных месторождений

Структурно-вещественные комплексы	Рудная формация	Рудоносная формация	Геолого-промышленный тип руд	Рудоконтролирующие структуры	Геодинамические обстановки	Рудные районы и пояса	Страна
Коры выветривания на интрузивных ультрамафитов	Силикатная кобальт-никелевая гипергенная	Ультрамафитовая дунит-гарцбургитовая (офиолитовая)	Серпентин-охристо-латеритный железо-кобальт-никелевый	Абразивный пенеплен (KZ)	Обстановки деформации орогенно-складчатых поясов	Тихоокеанский пояс Карибский пояс Средиземноморский пояс Южноуральский пояс Платиноносный пояс Уральской провинции Восточно-Африканское плато	Новая Каледония (Тиебаги и др.), Австралия (Гринвэйл), Индонезия (Соровако) Куба (Моа, Никаро) Испания (Аквабланка), Греция (Ларко-Ларимна) Россия (Буруктальское) Россия (Сахаринское, Елизаветинское) Эфиопия (Юбдо)
Никеленосный карст	Силикатная кобальт-никелевая контактово-карстовая	Апосерпентинитовая силикатно-карбонатная	Серпентин-охристо-алевритовый никелевый	Крутопадающие надвиги, системы тектонических нарушений (MZ)	Области тектонической активизации (термально-гипергенные обстановки)	Уральский пояс	Россия (Черемшанское, Шелеинское)

достигая на отдельных площадях 11–13%, отношение Ni/Cu 15 (от 10 до 50), никеленосные сульфиды имеют пирротин-пентландитовый состав.

Коматиитовые месторождения Западной Австралии, локализованные в зеленокаменном поясе Норсмен-Уилуна архейского блока Йилгарн, можно объединить в единую систему ультраосновных проявлений вулканических (камбалдинский тип) и интрузивных (маунткейтский тип) фаций. Месторождения камбалдинского типа (Камбалда, Уиндорра, Скотиа, Непиан и др.) наиболее многочисленны: на них приходится 96% всего количества никеля (со средним содержанием 4,1%), добытого в Австралии [23]. Месторождения маунткейтского типа (Маунт-Кейт, Форрестаниа, Агнью-Персиверанс) беднее (Ni 2,5%) и менее распространены.

Следует подчеркнуть, что никеленосные лавы ультраосновного состава, широко развитые в докембрии (архее) Австралии представляют собой уникальное природное явление, и в истории Земли их масштабных аналогов обнаружить пока не удается.

С архейскими зеленокаменными поясами Южной Африки (Шангани, Ипок, Троджен) и Канады (Абитиби) связаны интрузивные коматииты с высоким содержанием никеля: от 1–2% во вкрапленных рудах и до 10–11% в богатых разнородностях. Эти руды уступают австралийским по масштабам распространения и на сегодняшний день в значительной мере отработаны.

Протерозойские коматиитовые площади Канады, связанные с зеленокаменными поясами Кейп-Смит (провинция Квебек) и Томпсон (Манитоба), относятся к крупной рифтовой зоне Сьюпериор-Циркум (рис. 2). Если в первом поясе преобладают вулканические фации, то во втором – интрузивные [22, 24].

В пределах пояса Кейп-Смит известно несколько сульфидно-никелевых месторождений, из них наиболее крупное Катиник (запасы коматиитовых руд никеля 7,6 млн т при Ni 4,5%). Расположенный на востоке этого пояса рудный район Реглан отличается еще более высоким качеством руд: на руднике Дональдсон среднее содержание никеля в коматиитовых потоках ультраосновных лав может достигать 6%.

В поясе Томпсон сульфидно-никелевые руды связаны с пикритовыми силлами. Количество никеля в них от 1 до 10%, наиболее богатые месторождения, такие как Томпсон, Моак, Пайп-2, в настоящее время разрабатываются. Запасы никелевых руд пояса Томпсон оцениваются в 150 млн т руды при среднем содержании никеля в руде – 3,32%.

С зонами протоактивизации ассоциируют многие сульфидные медно-никелевые месторождения, приуроченные к рифтогенным структурам докембрийских щитов или складчатых обрамлений древних платформ. К этой группе относятся промышленные месторождения Балтийского (Печенга,

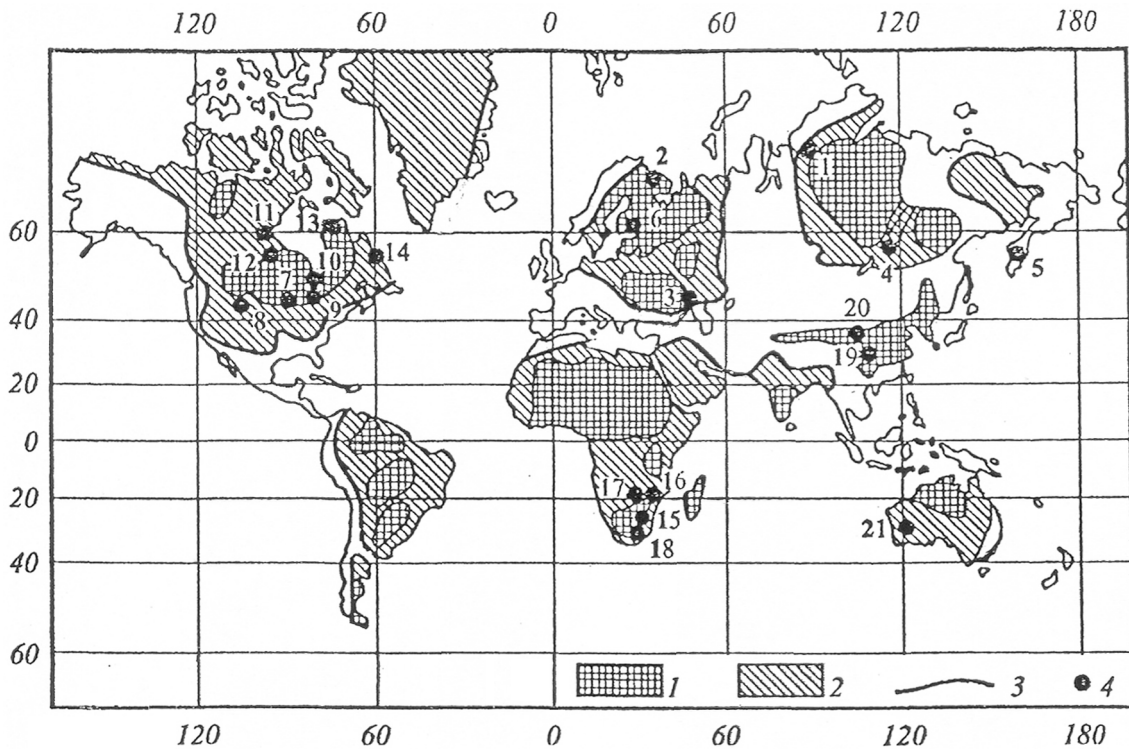


Рис. 1. Размещение сульфидных медно-никелевых месторождений на различных континентах мира

1 – щиты; 2 – платформы; 3 – границы платформ; 4 – месторождения никеля: 1 – Норильск, 2 – Печенга, 3 – ВКМ, 4 – Довырен, 5 – Шануч, 6 – Коталахти, 7 – Дулут, 8 – Стиллуотер, 9 – Садбери, 10 – Абитибиды, 11 – Линн-Лейк, 12 – Томпсон, 13 – Кейп-Смит, 14 – Войсис Бей, 15 – Бушвельд, 16 – Великая Дайка, 17 – Шангани, 18 – Инсизва, 19 – Сычуань, 20 – Джинчуань, 21 – Камбалда

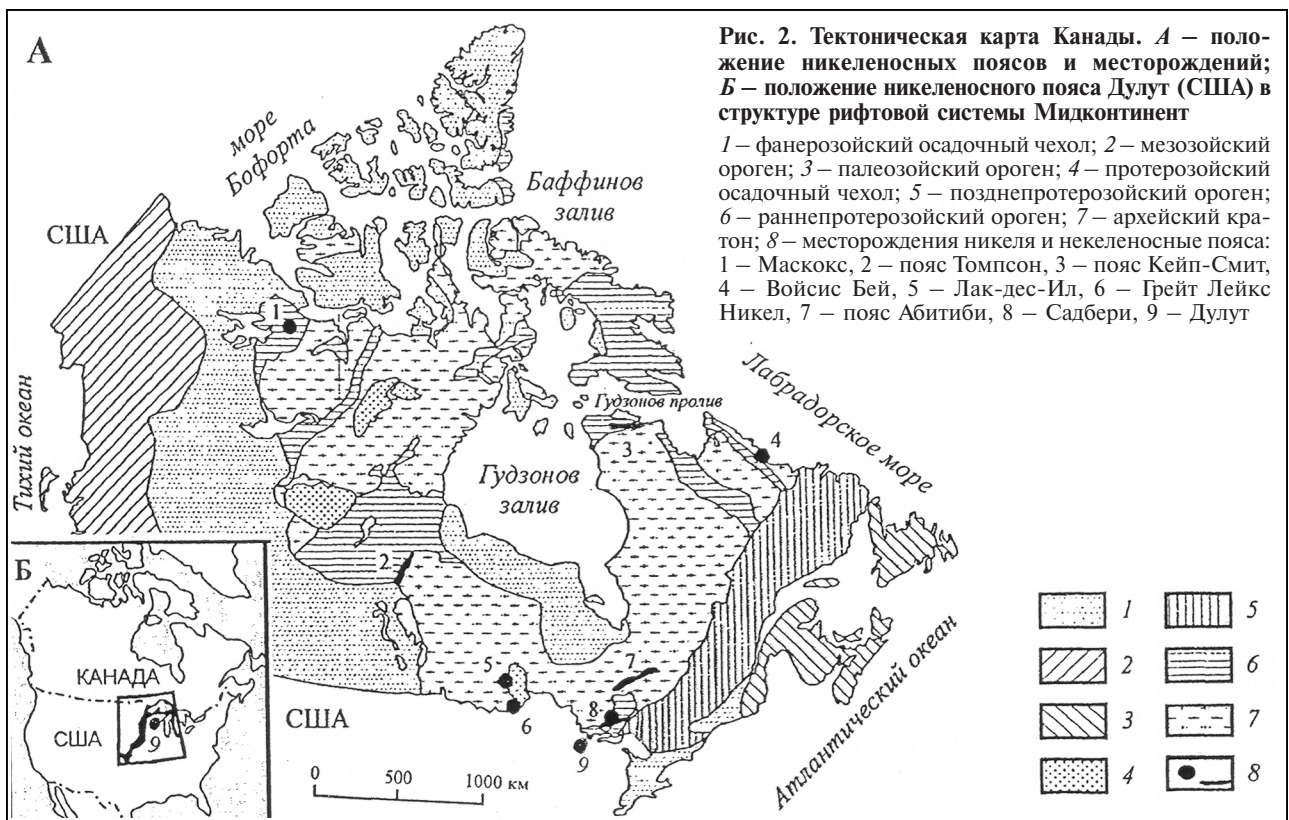


Рис. 2. Тектоническая карта Канады. А – положение никеленосных поясов и месторождений; Б – положение никеленосного пояса Дулут (США) в структуре рифтовой системы Мидконтинент

1 – фанерозойский осадочный чехол; 2 – мезозойский ороген; 3 – палеозойский ороген; 4 – протерозойский осадочный чехол; 5 – позднепротерозойский ороген; 6 – раннепротерозойский ороген; 7 – архейский кратон; 8 – месторождения никеля и никеленосные пояса: 1 – Маскокс, 2 – пояс Томпсон, 3 – пояс Кейп-Смит, 4 – Войсис Бей, 5 – Лак-дес-Ил, 6 – Грейт Лейкс Никел, 7 – пояс Абитибиды, 8 – Садбери, 9 – Дулут

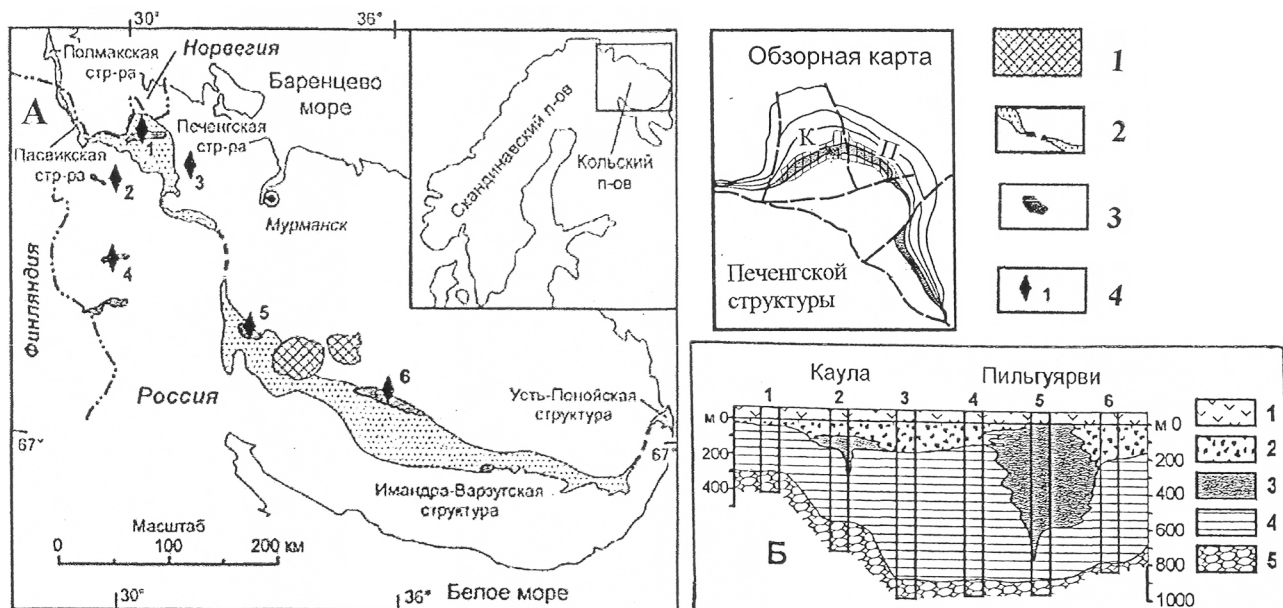


Рис. 3. Положение Печенга-Имандра-Варзугской рифтогенной структуры на территории Балтийского щита (Кольский п-ов) – А, обзорная карта и разрез Печенгской структуры в районе никелевых месторождений Каула – Пильгуярви (Ждановское) – Б

А: 1 – палеозойские щелочные интрузии (Хибинская, Ловозерская); 2 – раннепротерозойский Печенга-Имандра-Варзугский осадочно-вулканогенный пояс; 3 – раннепротерозойские мафит-ультрамафитовые интрузии; 4 – никеленосные площади и рудные районы: 1 – Печенгский, 2 – Аллареченский, 3 – Восточно-Печенгский, 4 – Ловнозерский, 5 – Мончегорский, 6 – Федорово-Панские тундры.

Б: 1 – вулканические породы свиты матерт; 2 – ферропикритовые туфы и туффиты ламмасской свиты; 3 – мафит-ультрамафитовые интрузии; 4 – черные сланцы ждановской свиты; 5 – подушечные лавы заполярнинской свиты

Коталахти и др.) и Канадского (Линн-Лейк, Войсис Бей) щитов, китайское месторождение Джинчуан и ряд перспективных объектов России на территориях Воронежского кристаллического массива (Елань-Вязовский и Мамонский пояса) и Северного Прибайкалья (Довырен). Большинство месторождений этой группы имеет протерозойский возраст и ферропикритовый состав первичной магмы.

Печенгский никеленосный район северо-запада РФ приурочен к палеорифтовой Имандра-Варзугской раннепротерозойской структуре, протянувшейся по всему Кольскому полуострову на 700 км с продолжением на территориях Финляндии и Норвегии (рис. 3). Она выполнена на комплексом осадочно-вулканогенных пород с участием пикритовых лав и отличается масштабными проявлениями мафит-ультрамафитового магматизма никелевой и платинометалльной специализации.

Размещение промышленно никеленосных интрузий Печенги контролируется совокупностью магматических, литолого-стратиграфических и структурных факторов: они имеют габбро-верлитовый состав, дифференцированное строение с локализацией интрузий в межпластовых тектонических зонах туфогенно-осадочной углеродсодержащей продуктивной толщи [13]. Связанное с ними сульфидное медно-никелевое оруденение однотипного состава: пирротин-пентландит-халькопиритовый с широким диапазоном количественных соотношений этих минералов. Руды разрабатываемых месторождений довольно бедные (Ni 1% и менее при соотношении Ni/Cu 2,2) и требуют обогащения. Самое крупное – Пильгуярви (Ждановское), вкрапленные руды которого в среднем содержат 0,56% никеля.

В пределах Имандра-Варзугской зоны известны и другие никельсодержащие месторождения (Мончегорское, Федорово-Панское) с высоким содержанием металлов платиновой группы, которые сейчас разведуются.

В Финляндии никелевые месторождения, сходные с печенгскими, широко распространены в свекокарельских комплексах, образующих два интрузивных мафит-ультрамафитовых пояса – Коталахти и Кюльмякоски. Пояс Коталахти, являющийся частью филлитового поля Саво, включает месторождения Лаукункангас и Хитура, наиболее значимые в промышленном отношении (10 млн т никелевой руды при Ni 0,6%). В составе пояса Кюльмякоски месторождения Ваммала (Ni 1, Cu 0,6%) и Хювеля (Ni 0,52, Cu 0,25%) наиболее крупные, они залегают среди графитоносных кристаллических сланцев [25].

На северо-западном продолжении Печенгского прогиба в Норвегии (структуры Пасвикская и Полмакская, район Финмаркен) встречаются небольшие интрузивные тела, несущие сульфидную медно-никелевую минерализацию, не имеющую практического значения.

Выявленное недавно на Канадском щите никелевое месторождение Войсис Бей (провинция Лабрадор) ассоциирует с позднепротерозойской (1335 млн лет) троктолитовой интрузией, внедрившейся в архейские гнейсы блока Нейн. Особенностью этого месторождения является не только хорошее качество руд (Ni 3,5, Cu 2,3, Co 0,14%), но и близкое к поверхности залегание, что позволяет отрабатывать его открытым способом [24].

Крупным промышленным месторождением сульфидного никеля является китайское месторождение Джинчуан (провинция Гансю) с огромными запасами руд – около 500 млн т (при средних

содержаниях Ni 1,3, Cu 0,7, Co 0,11%) [27]. Руды, локализованные в ультраосновных интрузивных телах раннепротерозойского возраста, приурочены к серии глубинных разломов краевой части Сино-Корейской плиты.

С докембрийскими расслоенными ультрамафит-мафитовыми интрузиями стратиформного типа (Бушвельд, Великая Дайка, Стиллуотер), сформировавшимися в режиме прогрессивно стабилизирующихся платформ, связаны менее значительные скопления сульфидных медно-никелевых руд со сравнительно невысокими содержаниями никеля (0,5%). Самый крупный из таких массивов – Бушвельдский лополит (ЮАР, пл. 66 тыс. км², возраст 1950 млн лет) приурочен, как и Великая Дайка (Зимбабве), к субмеридиональной рифтогенной структуре, входящей в систему Великих Африканских разломов восточной окраины континента. Массив Стиллуотер (США, 300 км² 2750 млн лет), расположенный в краевой части Северо-Американской платформы, приурочен к мощной рифтогенной зоне Маллен Крик, прослеживающийся на север вплоть до Верхнеозерной провинции Канадского щита.

Масштабные проявления руд рассматриваемого типа наблюдаются в раннепротерозойской интрузии Садбери (провинция Онтарио), расположенной в южной части Канадского щита. Несмотря на то что этот крупный гранофир-габброноритовый массив рассматривается разными авторами как лополит или астроблема, он обладает теми же особенностями строения и состава, что и другие расслоенные массивы. Производство никеля ведется здесь уже более 100 лет. Наиболее богаты на сегодня рудники Коппер-Клиф, Стоби, Фруд с содержанием никеля 3,5–6, меди 3%, суммы платиновых металлов 12 г/т. Запасы никеля превышают 10 млн т [24].

Месторождения, связанные с платобазальтовым магматизмом платформ, приурочены к интрузивным фациям континентальных базальтовых излияний (траппов). Эффузивные фации траппов, резко преобладающие над интрузивными, интенсивно развивались на Сибирской, Южно-Африканской и Северо-Американской платформах. Ассоциирующие с платобазальтами интрузивные тела Норильского района (РФ), Дулутского комплекса (США) и провинции Кару (ЮАР) содержат значительные скопления сульфидного никеля.

В Норильском районе габбро-пикрит-долеритовые интрузии и приуроченные к ним сульфидные медно-никелевые руды являются составной частью обширного траппового магматизма Сибирской

зии Садбери (провинция Онтарио), расположенной в южной части Канадского щита. Несмотря на то что этот крупный гранофир-габброноритовый массив рассматривается разными авторами как лополит или астроблема, он обладает теми же особенностями строения и состава, что и другие расслоенные массивы. Производство никеля ведется здесь уже более 100 лет. Наиболее богаты на сегодня рудники Коппер-Клиф, Стоби, Фруд с содержанием никеля 3,5–6, меди 3%, суммы платиновых металлов 12 г/т. Запасы никеля превышают 10 млн т [24].

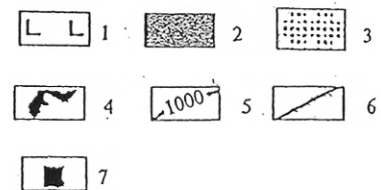
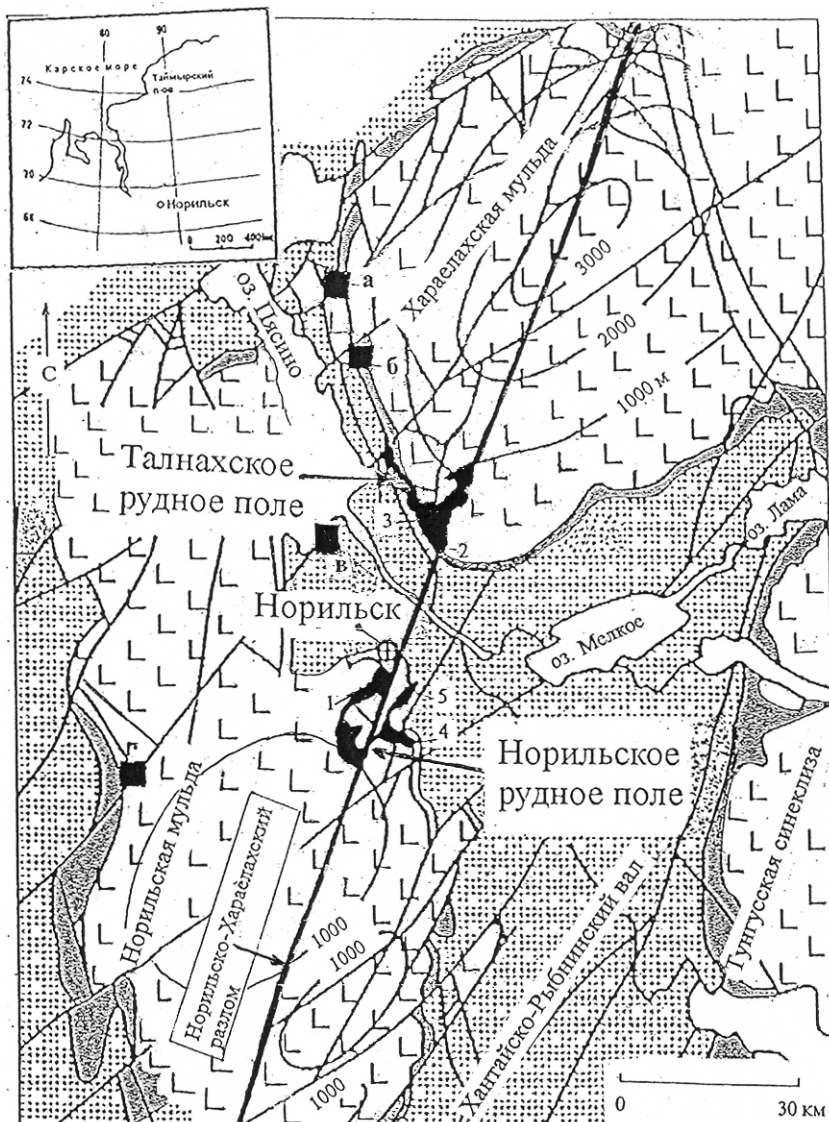


Рис. 4. Геологическое строение Норильско-Хараелахской никеленой провинции [9, 25]

1 – платобазальты (P₂-T₁); 2 – осадочные породы тунгусской серии (C₂-P₂); 3 – палеозойские осадки (D₁-C₁); 4 – никеленовые габбро-долеритовые интрузии (1 – Норильск I, 2 – Талнахская, 3 – Хараелахская, 4 – Черногорская, 5 – Норильск II); 5 – изопахиты платобазальтов, 6 – разломы, 7 – перспективные площади: а – Арылахская, б – Тальминская, в – Вологодчанская, г – Фокинская

платформы, проявившегося в пермо-триасовое время на территории Тунгусской синеклизы. Руды месторождений Октябрьское, Талнахское, Норильск I отличаются высоким качеством — среднее содержание в богатых рудах Ni 3,65, Cu 5,6%, что обеспечивает их рентабельную отработку даже в условиях Заполярья. Значительное содержание в рудах благородных и редких металлов, таких как металлы платиновой группы, а также золото, серебро, селен, теллур, позволяет относить норильские руды к категории уникальных [5].

Все известные промышленные никеленосные интрузии этого района сосредоточены вблизи глубинного Норильско-Харалахского разлома, сопряженного с Енисейско-Хатангским рифтогенным прогибом северо-западной окраины Сибирской платформы (рис. 4). Сочетание глубоких впадин (Норильская, Харалахская мульды), валообразных поднятий (Хантайско-Рыбинский вал и др.) и сети крупных разломов отражают особенности формирования Норильского региона в условиях высокой динамической подвижности на рубеже палеозойского и мезозойского времени, когда происходила глобальная перестройка литосферы.

Развитие мощного ареала рудоносных мафит-ультрамафитов объясняется не только мобильностью этого участка земной коры, но и его положением в узле пересечения планетарных Восточно-Сибирской, Таймырской и Западно-Сибирской геоплит, достигающих поверхности мантии [6].

В конце XX столетия платобазальтовые образования Верхнеозерной провинции США (комплекс Дулут) и Южно-Африканской провинции Кару (Инсизва) стали рассматриваться в качестве перспективных на поиски сульфидных руд норильского типа.

Дулутский комплекс, расположенный в краевой части Северо-Американской платформы вдоль границы с Канадским щитом, проявляет много общих черт с Норильским регионом. Сульфидное медно-никелевое оруденение связано здесь с силлообразными габбро-троктолитовыми телами, которые локализованы в пределах крупного континентального прогиба, выполненного осадочно-вулканогенными породами группы Кивинован (110 млн лет) и сопряженного с трансамериканской рифтовой системой Мидконтинент (рис. 2). Руды довольно бедные: Ni 0,3, Cu 0,6%, сумма Pt + Pd до 1 г/т, однако запасы их значительны — 4,4 млн т [12].

С пластобазальтовым магматизмом провинции Кару в Южной Африке связаны юрские интрузии (183 млн лет), представленные долеритовыми силами. В них широко распространена рассеянная сульфидная вкрапленность, но повышенные содержания никеля установлены только в пикрит-долеритовых интрузиях комплекса Инсизва (массивы Ингали, Тонти, Табанкулу), которые входят в состав трапповых полей Кару. Запасы медно-никелевых руд разведваемого в настоящее время месторождения Уотерфилл Годж не превышают 600 тыс. т (при суммарном содержании Ni и Cu не более 0,5%).

Силикатные кобальт-никелевые гипергенные месторождения являются сегодня важнейшим мировым источником никеля. Образование месторождений данного типа связано с химическим выветриванием серпентинитов и серпентинизированных ультраосновных пород различных магматических формаций:

большинство крупных мировых месторождений никеля развивается по ультрамафитам дунит-гарцбургитовой формации офиолитовых комплексов складчатых областей, небольшая часть образуется по зональным массивам уральско-аляскинского типа дунит-клинопироксенитовой формации и редко по расслоенным интрузиям и коматитам. Полезные компоненты руд находятся в соотношениях Ni/Co 10–30 при содержаниях Ni 1,6–2,5, Co 0,06–0,3%. Основными носителями этих металлов являются магнезиально-железистые силикаты и гидросиликаты, развивающиеся по серпентину, — гарниерит (никелевый хризотил, содержащий 41–47% NiO), никельсодержащий керолит, нонтронит (гидросиликат группы монтмориллонита) [18].

Отличительной чертой никеленосных кор выветривания является зональное строение: нижняя зона серпентинитовая, верхняя — нонтронит-охристая. Наибольшая концентрация никеля приурочена к зонам выщелоченных и нонтронизированных серпентинитов. В оврагах часто концентрируются марганцевые минералы (асболаны), сорбирующие кобальт и представляющие собой кобальт-никелевые асболановые руды.

В настоящее время выделяется несколько морфологических типов никеленосных кор выветривания — площадной, трещинный (линейный), контактово-карстовый. Месторождения площадного типа связаны с покровной корой выветривания, возникшей в условиях равнинного рельефа. Они составляют основную массу мировых запасов руд силикатных месторождений никеля. Трещинные коры выветривания отличаются локализацией в тектонических зонах подвижных областей и широко распространены на Урале (Уфалейская, Бурктульская группы месторождений). Контактво-карстовый тип — продукты выветривания в зонах контакта никеленосных серпентинитов с карбонатными толщами.

Образование и развитие никеленосных кор выветривания определяется, помимо состава материнских ультраосновных пород, также климатическими, гидрогеологическими и тектоническими факторами. Существенное значение имеют фашиальные обстановки формирования рудоносного элювия. Геохимическая направленность выветривания может варьировать от аридного до латеритного вектора.

Наиболее продуктивны в отношении никеля коры выветривания и продукты их переотложения, образующиеся на дневной поверхности в условиях жаркого гумидного климата — латеритные формации. Они широко распространены в тропических и субтропических областях неоген-четвертичного времени, когда сформировались месторождения Тихоокеанского, Карибского и Средиземноморского поясов (рис. 5).

Так, в корях выветривания Новой Каледонии (на площади 6 тыс. км²) сосредоточено более 12% мировых запасов никеля. Руды существенно гарниеритового состава с относительно высоким содержанием никеля (в среднем от 2,6 до 10–16%) и кобальта (0,1–0,3%). Запасы никельсодержащих руд, которые являются объектами добычи уже в течение многих десятилетий (с 1875 г.), оцениваются исключительно высоко — до 2,5 млрд т. Особо богаты такие разрабатываемые месторождения, как Горо, Нинга, Тиебаги, Кониамбо и др.

В Австралии, также обладающей значительными запасами никелевых руд гипергенного типа (до

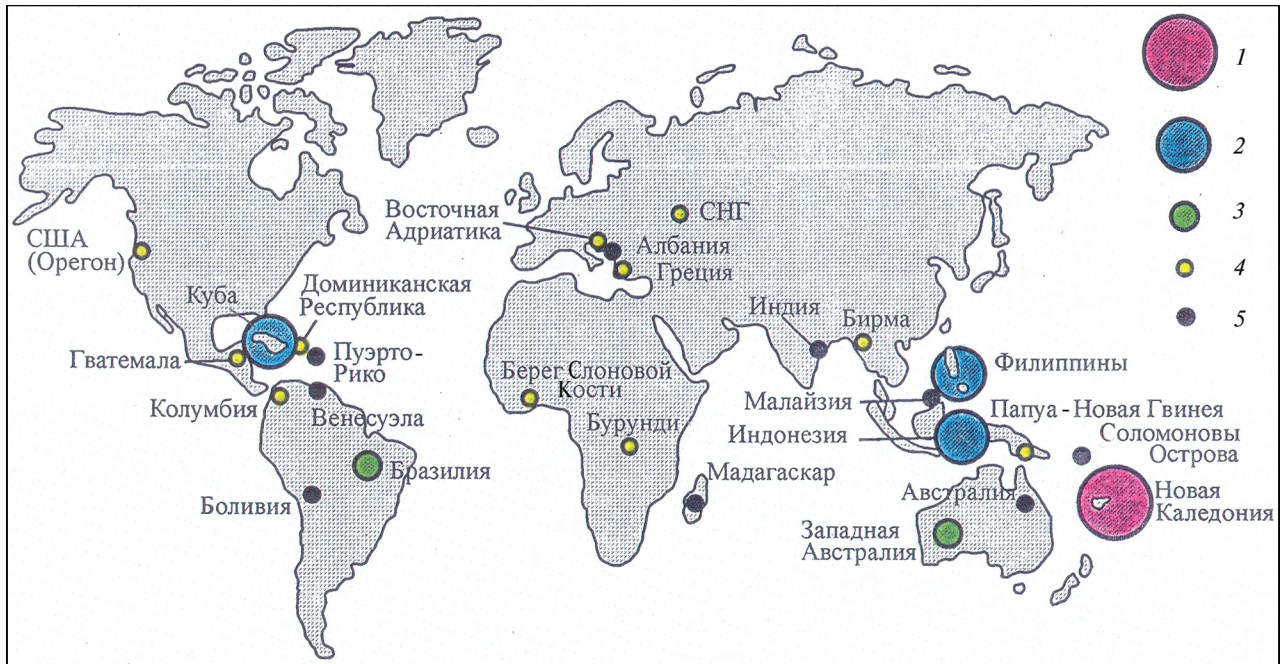


Рис. 5. Размещение гипергенных месторождений никеля в различных регионах мира

Запасы гипергенного никеля (млн т): 1 — > 50, 2 — 10–50, 3 — 5–10, 4 — 1–5, 5 — < 1

11% мировых), разрабатывается полтора десятка месторождений, в том числе такие крупные, как Гринвейл, Рокгемптон, Ковс со сравнительно невысокими содержаниями никеля (0,5–0,9%).

Индонезия (9% мировых запасов никеля) отличается небольшими по масштабам, но довольно богатыми (Ni 2,1%) рудами гипергенных месторождений на островах Сулавеси (Соровако), Вайгео, Борнео, Хальмахер (Були) с запасами гипергенных никелевых руд до 0,5 млрд т.

На Филиппинах (5,3% мирового объема никеля) среднее содержание никеля в рудах разрабатываемых месторождений Рио Туба, Беронг, Татанито составляет 2,6%.

В Карибском бассейне наиболее значительные запасы никеля (10,5% мировых) сконцентрированы на Кубе в районах Моа (месторождения Пунта Горда, Санта Тересита и др.), Никаро (Соль Либа-но, Марти), Сан Фелиппе провинций Пинель дель Рио, Ориенте, Камагуэй, где средние содержания никеля 1,3, кобальта 0,1%, а запасы руд превышают 1 млрд т.

В небольшом объеме производство никелевых руд гипергенного типа осуществляется в странах Средиземноморского пояса — в Испании (Аква-бланка), Греции (Ларко-Ларимна), Македонии (Кавадарци), Турции (Чалдаг), но руды здесь беднее, чем на месторождениях Тихоокеанского пояса и Кубы.

Силикатные никелевые месторождения освоены также в России, где они связаны с более древними доверхнеюрскими корами латеритного выветривания. Руды сравнительно бедные (Ni в среднем 0,7, Co 0,03%) и в значительной мере отработаны: из трех десятков никелевых месторождений, разрабатываемых в XX в., в наши дни действующими являются лишь три — Серовское, Сахаринское и Буруктальское. На их базе работают Уфалейский, Режский и Южноуральский никелевые заводы [11].

Прочие никельсодержащие типы руд. Помимо сульфидных и силикатных (гипергенных) руд, никель попутно извлекают из руд некоторых комплексных месторождений — колчеданных, титаномагнетитовых, мышьяково-кобальтовых. К числу перспективных нетрадиционных типов никельсодержащих руд, открытых сравнительно недавно, относятся комплексные черносланцевые и океанические руды.

Колчеданные никельсодержащие месторождения, связанные с кислыми производными базальтового вулканизма, установлены во многих странах. В рудах этих месторождений (по составу медно-свинцово-цинковых) повышенные содержания никеля появляются на поздних стадиях рудообразующих процессов. Промышленными на никель являются в настоящее время колчеданные руды Вьетнама (месторождение Боудвин, провинция Шан), а также Финляндии (Тальвиваара). Никель в рудах этого типа присутствует в десятых долях процента и является второстепенным компонентом.

Попутное извлечение никеля из титаномагнетитовых руд ведется на месторождении Телянес в Норвегии, одном из крупнейших в мире месторождений титана (TiO₂ 18%). Руды связаны с анортозитовым массивом протерозойского возраста и содержат небольшую примесь извлекаемых никеля 0,016 и меди 0,03%.

Гидротермальные месторождения мышьяковоникель-кобальтовых руд, известные в Марокко (Бу-Аззар), Канаде (Кобальт, Эльдорадо), России (Ховуаксы), связаны с диорит-гранодиоритовыми интрузиями, проявившимися на активных окраинах континентальных структур. Содержание никеля в рудах этого типа невысокое (десятые доли процента) и их нельзя рассматривать в качестве перспективных в отношении никеля.

Новым источником никеля могут стать в ближайшие годы черные сланцы, ассоциирующие с разновозрастными осадочными углеродсодержа-

щими комплексами пород, развитыми практически на всех континентах [4]. Рудоносные сланцы могут содержать значительные количества ценных металлов – никеля, кобальта, меди, молибдена, ванадия, урана, золота, серебра, платиноидов. Наиболее важными являются медистые сланцы Польши (Нижняя Силезия), полиметаллические черносланцевые руды Китая (Сунлинь, провинция Гуйчжоу) и Канады (бассейн Селвин, провинция Юкон). По наращиванию минерально-сырьевого потенциала никеля черные сланцы приобретают в наши дни уникальное значение как по масштабам распространения, так и по количеству прогнозируемых ресурсов.

Скопления никельсодержащих руд на дне океанов хотя и не являются пока объектами промышленного освоения, безусловно представляют интерес как возможный источник никеля. Его ресурсы в океанических рудах связаны с железомарганцевыми конкрециями (ЖМК) глубоководных впадин; кобальт-марганцевыми корками (КМК) подводных гор и возвышенностей; сульфидными гидротермальными рудами океанической коры, которые рассматриваются в качестве аналогов колчеданных месторождений континентов.

Океанические конкреции (ЖМК) содержат значимые количества никеля 0,1–1 до 2 и кобальта 0,3–2,5% при широкой их распространенности на отдельных участках (10 тыс. т на 1 км²). Мировые ресурсы никеля в КМК оцениваются в 40, кобальта 80 млн т при средних содержаниях Ni 0,4 и Co 0,68% [1].

Российскими геологами изучаются железомарганцевые конкреции рудной провинции Кларин-Клиппертон и кобальтоносных корок Магеллановых гор Тихого океана. Удовлетворена заявка РФ на выделение перспективного участка дна в Международном районе Атлантического океана для разведки и промышленного освоения месторождений глубоководных никельсодержащих полиметаллических сульфидных руд.

Российская Федерация, являясь мировым лидером в никелевом секторе экономики, по количеству запасов этого металла (14% мировых) уступает пока

лишь Австралии. Вместе с тем по добыче никелевых руд, производству первичного никеля и его экспорту (20% поставок на мировой рынок) РФ занимает первое место. При этом в отличие от зарубежных стран, где основное промышленное значение имеют гипергенные руды, в РФ почти 90% запасов и добычи приходится на сульфидные медно-никелевые руды и лишь частично (около 9%) на гипергенные.

Рассматривая дальнейшие перспективы развития сырьевой базы никеля в России, необходимо учитывать следующие факторы.

Рост производства никеля в РФ в значительной степени зависит от деятельности ОАО «ГМК Норильский никель», который обеспечивает высокий уровень производства никеля на большинстве предприятий страны и на протяжении многих лет сохраняет российские позиции на мировом рынке. Однако для сохранения этих позиций необходимо активное пополнение ресурсов, воспроизводство МСБ никеля как в районах действующих предприятий, так и на новых площадях.

Сегодня производство никеля в РФ связано в основном с Норильским регионом. Вместе с тем МСБ никеля этого региона претерпевает заметные трудности: наблюдается тенденция к ухудшению качества руд, и в недалекой перспективе на месторождениях этого региона богатые сульфидные руды должны будут замещаться более бедными вкрапленными.

Новые прогнозируемые площади находятся в труднодоступных и лишенных инфраструктуры районах России, что создает экономические преграды для их освоения в ближайшей перспективе.

В такой ситуации перед Геологической службой РФ стоит чрезвычайно важная задача не только дальнейшего развития никелевой отрасли в нашей стране, но и сохранения международного статуса РФ как ведущего поставщика товарной никелевой продукции на мировой рынок.

Для решения этой проблемы необходима активизация геологоразведочных и поисковых работ, и прежде всего в Норильском и Карело-Кольском регионах. Нынешнее состояние их прогнозных ресурсов свидетельствует о наличии некоторого резер-



Рис. 6. Перспективные месторождения сульфидных медно-никелевых руд Канской и Бирюсинской металлогенических зон Восточно-Саянской провинции. Ресурсный потенциал никеля (в тыс. т) [14, 16]



Рис. 7. Никеленосные металлогенические зоны на территории РФ [14]

ва для получения прироста запасов никеля в этих районах. Так, в последние годы установлены небольшие месторождения вкрапленных сульфидных руд в Норильском (Масловское и др.) и Печенгском (Быстринское, Тундровое и др.) районах, однако они не решают долгосрочной никелевой проблемы по приросту запасов.

Может представлять интерес Среднеенейская МЗ (Фатьянининская площадь и др.), примыкающая к шовному Енисейскому тектоническому поясу краевой части Сибирской платформы, с которым связаны все известные промышленные месторождения норильского типа.

Металлогенический анализ [3, 10, 15] позволяет положительно оценивать новые проявления сульфидного никеля в Восточно-Саянской провинции Сибирского федерального округа (ФО) (рис. 6). В условиях выбывания богатых руд норильских месторождений эта провинция могла бы пополнить сырьевую базу никеля и поэтому вопрос освоения этого отдаленного региона приобретает государственное значение.

Определенными перспективами в отношении сульфидного никеля (при значимых количествах прогнозных ресурсов) обладают и некоторые другие российские регионы (рис. 7). Среди них Лоттинский (Лапландская МЗ) и Маткалахтинский (Водлозерская МЗ) районы Северо-Западного ФО, Геранская и Лантарская площади (Джугджурская МЗ) в Дальневосточном ФО, Елань-Эртыльская МЗ в Центральном ФО.

Появление в центре России на территории Воронежского геоблока богатого сульфидно-никелевого Еланьского месторождения (с попутными

платиноидами и золотом), приуроченного к протяженному Елань-Эртыльскому ультрамафит-мафитовому поясу, позволяет говорить о возможности создания в европейской части РФ потенциально промышленного никеленосного района.

На Урале имеются многочисленные проявления силикатного никеля, чаще всего заброшенные. После вхождения РФ в рыночную экономику производство силикатного никеля на Урале, располагающего развитой индустриальной базой, резко снизилось, и теперь потребуются немалые усилия для возрождения здесь никелевой промышленности. Перспективы же силикатно-никелевых площадей Салаирской МЗ (Тягун-Сергайская, Мартыново-Шалопская) весьма неопределенны.

Успехи никелевой отрасли Юго-Восточной Азии, Океании, Австралии и стран Карибского бассейна свидетельствуют о том, что освоение руд этого типа при активном внедрении передовых технологий может сделать производство силикатного никеля в РФ вполне рентабельным. На этом основании напрашивается вывод о необходимости реанимации силикатно-никелевой промышленности в нашей стране.

Следует также иметь в виду, что в мировом производстве никеля заметное место занимают коматитовые сульфидные руды. В России данный тип руд практически не изучен, хотя имеются все предпосылки для его выявления.

Подводя итоги проведенного анализа, необходимо особо отметить важную роль рифтогенеза и мантийного магматизма в формировании никелевых месторождений. Процессы деструкции литосферы, сопровождающиеся зонами рас-

тяжения, характеризуются мощными излияниями ультраосновных и основных магм, несущих никелевую минерализацию. С глубинными разломами связаны области высокого прогрева, декомпрессии и внедрения в кору не только мантийного вещества, но и флюидов, участвующих в рудоформировании.

Современный уровень обеспеченности России никелевым сырьем, казалось бы, не вызывает опасения, однако технологические сдвиги в мировой сфере производства никеля, отсутствие у нас новых крупных объектов, особенно в районах с развитой инфраструктурой, создают в стране четко обозначившуюся угрозу потери лидерства, что требует принятия неотложных мер.

Установленные закономерности проявления никеля в различных геологических обстановках могут послужить основой для прогнозирования и поисков новых никеленосных площадей на территории Российской Федерации.

Решение практических задач прогнозирования таких объектов предполагает комплексный анализ, включающий, помимо отраслевого (специального) металлогенического анализа, также палеотектонический, геодинамический и петрологический с привлечением геохронологических характеристик, определяющих положение никелевых объектов в эволюции геологического развития отдельных территорий.

1. *Андреев С.И., Аникеева Л.И., Алексеев А.М.* Минеральные ресурсы Мирового океана, концепция изучения и освоения (до 2020 г.). — СПб.: ВНИИОкеангеология, 2007. — 82 с.

2. *Бежанова М.П., Стругова Л.И.* Ресурсы, запасы и добыча важнейших видов полезных ископаемых. — М.: ОАО «ВНИИЗарубежгеология», 2011. — 145 с.

3. *Беневольский Б.И.* Состояние и пути развития минерально-сырьевой базы благородных и цветных металлов России // Разведка и охрана недр. 2011. № 5. — С. 28–36.

4. *Гурская Л. И.* Платинометалльное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. СПб.:Изд-во ВСЕГЕИ, 2000, 208 с.

5. *Додин Д.А.* Металлогения Таймыро-Норильского региона (север Центральной Сибири). — СПб.: Наука, 2002. — 820 с.

6. *Дюжиков О.А., Дистлер В.В., Струнин Б.М.* и др. Геология и рудоносность Норильского региона. — М.: Наука, 1988. — 279 с.

7. *Игневская Л.В.* Особенности развития мировой никелевой промышленности на современном этапе // Минеральные ресурсы России. 2006. № 1. — С. 96–100.

8. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д.В. Рундквиста. — Л.: Недра, 1986. — 750 с.

9. *Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые месторождения. — М.: Эслан, 2006. — 496 с.

10. Минерально-сырьевой потенциал недр Российской Федерации. Т. 1: Прогнозно-металлогенический анализ. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. — 224 с.

11. *Михайлов Б.М.* Перспективы развития сырьевой базы никелевой промышленности Урала // Регион. геология и металлогения. 2002. № 15. — С. 97–108.

12. *Налдретт А.Дж.* Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2003. — 487 с.

13. Недра северо-запада Российской Федерации / В.А. Коровкин, Л.В. Турылева, Д.Г. Руденко, В.А. Журавлев, Г.Н. Ключников. — СПб.: Изд-во Картфабрики ВСЕГЕИ, 2003. — 520 с.

14. О состоянии и использовании минерально-сырьевых ресурсов Российской Федерации в 2010 году. — М.: Центр «Минерал» ФГУНПП «Аэрогеология», 2011. — 418 с.

15. *Петров О.В., Михайлов Б.К., Татаркин А.И.* и др. Минерально-сырьевой потенциал недр России: состояние и направления его инновационного использования. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2009. — 27 с.

16. *Петров О.В., Шатов В.В., Киселев Е.А.* и др. Металлогенический анализ: состояние и перспективы развития // Регион. геология и металлогения. 2010. № 44. — С. 41–47.

17. *Рундквист Д.В.* Состояние и пути развития теоретической металлогении // Геология рудных м-ний. 1990. № 6. — С. 80–101.

18. Технологическая минералогия гипергенных никелевых руд / Авторы А.С. Вершинин, И.В. Витовская, И.И. Эдельштейн и др. — Л.: Наука, 1988. — 274 с.

19. *Феоктистов В.П., Шатов В.В., Марков К.А.* и др. Составление прогнозно-металлогенической карты территории России как основы для прогнозирования и оценки высокоресурсных металлогенических объектов // Известия ВСЕГЕИ. 2006. Т. 6 (54). — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. — С. 67–78.

20. *Щеглов А.Д.* Основные проблемы металлогении: Избранные труды. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2007. — 360 с.

21. Энциклопедический словарь. — М.: Изд-во «Большая Российская энциклопедия», 2011. — 1518 с.

22. *Begg G.C., Hronsky J.A.M., Arndt N.T.* et al. Lithospheric, cratonic and geodynamic setting of Ni-Cu-PGE sulphide deposits // Economic geology. 2010. Vol. 105. No 6. — P. 1057–1070.

23. *Hoatson D.M., Jaireth S., Jaques A.L.* Nickel sulphide deposits in Australia: characteristics, resources and potential // Ore Geol Rev. 2006. No 29. — P. 177–241.

24. *Maier W.D., Groves D.I.* Temporal and spatial controls on the formation of magmatic PGE and Cu-Ni deposits // Mineralium Deposita. 2011. Vol. 46. No 8. — P. 841–857.

25. Mineral deposits and metallogeny of Fennoscandia. Geological Survey of Finland, Spec. Paper. 2012. No 53. — 401 p.

26. *Mudd G.M.* Global trends and environmental issues in nickel mining: sulphides versus laterites. Australia, Clayton: Monash Univ., 2011. — 35 p.

27. *Song X.-Y., Danyushevsky L.V., Keays R.R., Chen L.-M.* et al. Structural, lithological and geochemical constraints on the dynamic magma plumbing system of the Yinchuan Ni-Cu sulphide deposits, NW China // Mineralium Deposita. 2012. Vol. 47. No 3. — P. 277–298.

Петров Олег Владимирович — доктор экон. наук, канд. геол.-минер. наук, ген. директор, ВСЕГЕИ. <vsmdir@vsegei.ru>.
Гурская Людмила Ивановна — канд. геол.-минер. наук, вед. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ.
Феоктистов Вячеслав Петрович — доктор геол.-минер. наук, гл. науч. сотрудник, ВСЕГЕИ.