

УДК 553.481

## МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОКА ЕВРАЗИИ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ)

© 2009 В.А. Степанов

*Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский, 683002; e-mail: nigtc@ksc.iks.ru*

Выполнен обзор ряда гигантских, крупных, средних и мелких сульфидных медно-никелевых месторождений, расположенных на востоке Евразийского континента. Эти месторождения принадлежат к следующим никеленосным магматическим формациям: габбро-пикрит-долеритовой (Норильск, Талнах, Колотонк), габбро-пироксенит-перидотитовой (Джиньчуань, Хунчилин, Йоко-Довыренское), пироксенит-перидотитовой (Кингаш), а также регенерированной диорит-норит-пироксенит-троктолитовой (Шануч, Самхэ, Пуяндон). Формирование медно-никелевых месторождений происходило в широком временном отрезке от раннего протерозоя (Кингаш) до мезозоя (Норильск, Талнах, Хунчилин) и кайнозоя (Шануч). Наблюдается приуроченность наиболее крупных месторождений к окраинам кратонов, а средних и мелких к обрамляющим кратоны складчатым областям и срединным массивам. Наиболее древние месторождения располагаются в интрузивах с повышенной магнезиальностью относительно более молодых.

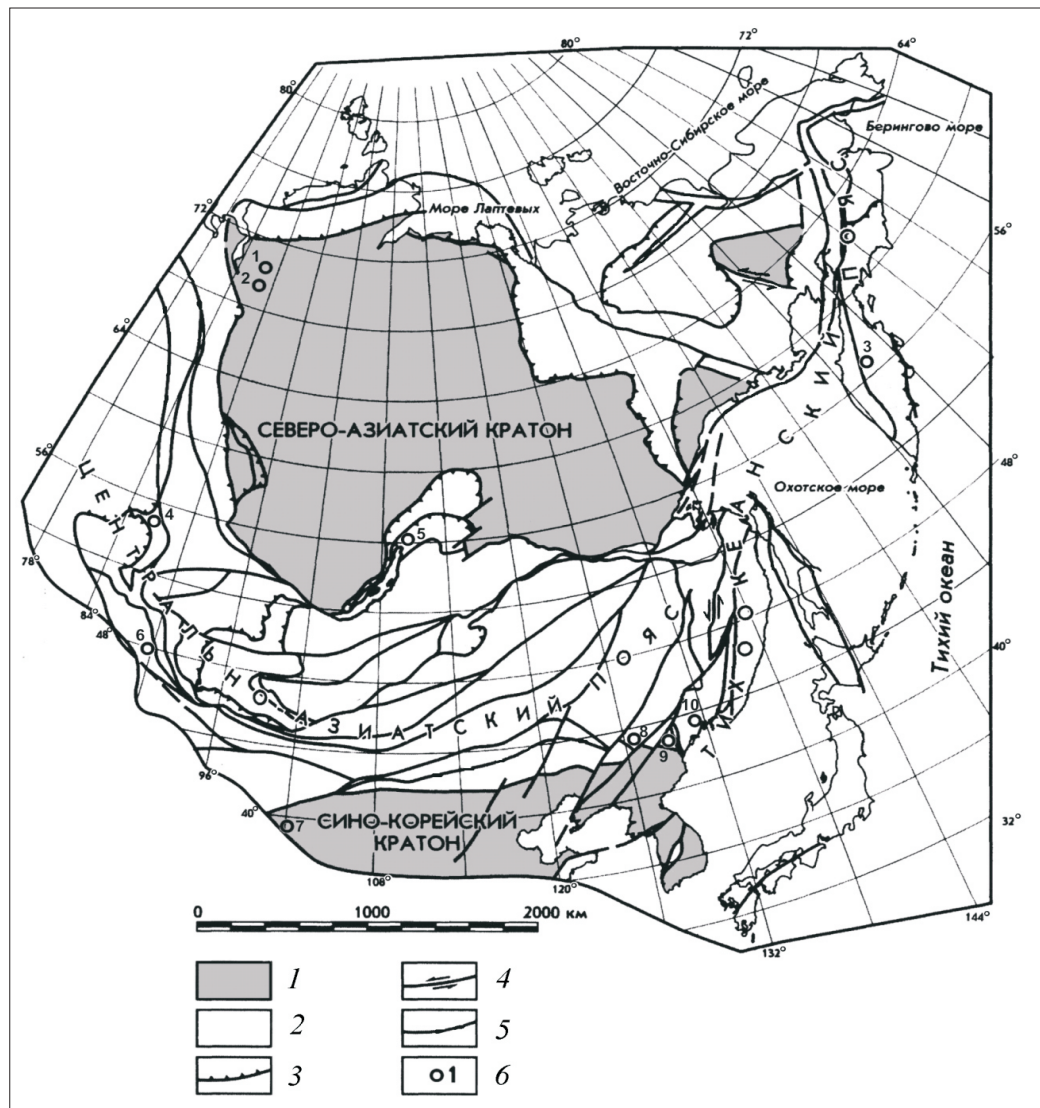
*Ключевые слова: никель, медь, месторождение, сульфид, магматическая формация, Евразийский континент.*

На востоке Евразийского континента разрабатываются медно-никелевые месторождения, как гигантские по масштабу оруденения – Норильск, Талнах, Джиньчуань, так и крупные, средние и мелкие (рис. 1). Они представляют собой близкие по генезису сульфидные магматические месторождения, связанные с интрузивами или вулканитами базит-ультрабазитового состава. Наиболее крупные месторождения располагаются на окраинах Северо-Азиатского (Норильск, Талнах) и Сино-Корейского (Джиньчуань) кратонов. Прочие приурочены к обрамляющим кратоны орогенным поясам или к срединным массивам (Шануч). Формирование медно-никелевых месторождений происходило в широком возрастном интервале от раннего и среднего протерозоя (Кингаш, Джиньчуань) до мезозоя (Норильск, Талнах, Хунчилин) и кайнозоя (Шануч).

Для определения связи медно-никелевого оруденения востока Евразии с конкретными магматическими комплексами использованы результаты исследования А.П. Лихачева (Лихачев, 2006). Им предложен единый магматический ряд мафит-ультрамафитовых образований, разделенный на три серии: мафическую

( $MgO \geq 8$  мас. %) бессульфидную и слабосульфидную, при формировании которой не образуется значительных скоплений рудного вещества; мезомафическую ( $MgO = 8-33$  мас. %) сульфидоносную, формирующую медно-никелевые и платиновые месторождения, а также ультрамафическую ( $MgO > 33$  мас. %), обогащенную силикатным никелем, хромом и элементами платиновой группы. Сульфидоносная мезомафическая серия включает следующие никеленосные формации, соответствующие определенным магматическим группам:

- мало магнезиальная габбро-троктолитовая (Курейский район, Дулут);
- умеренно магнезиальная габбро-пикрит-долеритовая (Норильский район, Инсизва);
- магнезиальная габбро-норит-пироксенит-перидотитовая (Мончегорск, Бушвельд, Стиллуотер);
- повышено магнезиальная габбро-пироксенит-перидотитовая (Печенгский и Аллареченский районы, Кейп Смит, Джиньчуань);
- высоко магнезиальная пироксенит-перидотитовая (Камбалда, месторождения зеленокаменных поясов Западной Австралии, Канады, Африки);



**Рис. 1.** Геотектоническая позиция медно-никелевых месторождений востока Азии. Геотектоническая основа по (Парфенов, 1995).

1 – кратоны и их фрагменты; 2 – орогенные пояса различного возраста, 3 – надвижки; 4 – сдвиги; 5 – прочие разломы; 6 – медно-никелевые месторождения: 1 – Талнах, 2 – Норильск, 3 – Шануч, 4 – Кингаш, 5 – Йоко-Довыренское, 6 – Колотонк, 7 – Джиньчуань, 8 – Хунчилинь, 9 – Пуяндон, 10 – Самхэ.

– ультрамафическая перидотит-дунитовая (Маунт Кейт, Сикс Майл).

Кроме того, А.П. Лихачевым выделены медно-никелевые месторождения импактного происхождения гибридной диорит-норит-габбровой формации (Садбери), а также регенерированные месторождения войсисбейского типа (Войсис Бей, Еланское, Елкинское, Шануч).

Известные в настоящее время медно-никелевые месторождения востока Евразии по классификации А.П. Лихачева относятся к следующим формациям: габбро-пикрит-долеритовой (Норильск, Талнах, Колотонк), габбро-пироксенит-перидотитовой (Джиньчуань, Хунчилинь, Йоко-Довыренское), пироксенит-перидотитовой (Кингаш), а также диорит-

норит-пироксенит-троктолитовой формации с регенерированными месторождениями (Шануч, Самхэ, Пуяндон). Наиболее крупные медно-никелевые месторождения принадлежат габбро-пикрит-долеритовой (Норильск, Талнах) и габбро-пироксенит-перидотитовой (Джиньчуань) формациям.

## ПРОТЕРОЗОЙ

Наиболее древним, раннепротерозойским является крупное медно-никелевое месторождение Кингаш, расположенное в Саянах, на юго-западном обрамлении Северо-Азиатского кратона. Оруденение приурочено к кингашскому коматиит-базальтовому комплексу, входящему в

состав Канского зеленокаменного пояса. Медно-никелевое оруденение, как правило, расположено в нижней части образований кингашской толщи. Подстилающими породами служат мрамора, которые нередко отмечаются в виде пластов и линз в составе никеленосных ритмопачек. Основной объем руды приурочен к коматиитам дунитового и перидотитового состава. Непосредственно рудовмещающим является интрузив, близкий по форме к лополиту. Он сложен верлитами, дунитами, клинопироксенами и габброидами. Отмечается переслаивание дунитов, верлитов со шлирами дунитов, шрисгеймитов, горнблендитов и габброидов. Содержание магния в породах меняется от 11.14 до 36.61 мас. % (Додин и др., 2000). На месторождении преобладают вкрапленные руды с содержанием сульфидов до 20% (в среднем 8%). Брекчиевидные, флюидално-полосчатые и массивные руды слагают жильные тела мощностью до 0.5 м. В состав медно-никелевых руд входят пирротин, пентландит и халькопирит с соотношением 4-5:2-3:1. С ними ассоциируют кубанит, никелин, герсдорфит, раммельсбергит, маухерит, маккинавит, борнит, халькозин, самородные медь и железо, сфалерит, а также минералы элементов группы платины и самородное золото. Содержание никеля в рудах варьирует от 0.3 до 3% (в среднем 0.4%) во вкрапленных рудах и до 6% в жильных. Содержание меди изменяется от 0.1 до 1%, в среднем составляя 0.17%. Соотношение Ni/Cu меняется от 3:1 до 2:1. Содержание благородных металлов невелико и составляет в среднем (в г/т): Pt – 0.22, Pd – 0.19, Au – 0.12, Ag – 0.76 (Еханин и др., 2004).

Гигантское медно-никелевое месторождение Джиньчуань расположено в северо-западном Китае. Оно приурочено к одноименному рудоносному интрузиву дунит-лерцолитового состава, внедрившемуся около 1.5 млрд. лет тому назад в раннепротерозойский комплекс южной окраины Сино-Корейского щита (Маракушев и др., 2000). Интрузив имеет восток-юго-восточное простирание и протяженность около 6 км при мощности от 20 до 527 м (в среднем около 300 м). Он приурочен к зоне контакта доломитов и мраморов с мигматитами, гнейсами и амфиболитами, наклоненный на юго-запад под углами 60-70°. В этом же направлении падает и интрузив (рис. 2). Сложная морфология интрузива, причудливая конфигурация его контактов и наличие внутри его блоков вмещающих карбонатных пород, находящихся в интрузиве в ненарушенном залегании, свидетельствуют о замещении им значительных объемов раннепротерозойских пород, главным образом, доломитов и мраморов.

Преобладающими породами массива явля-

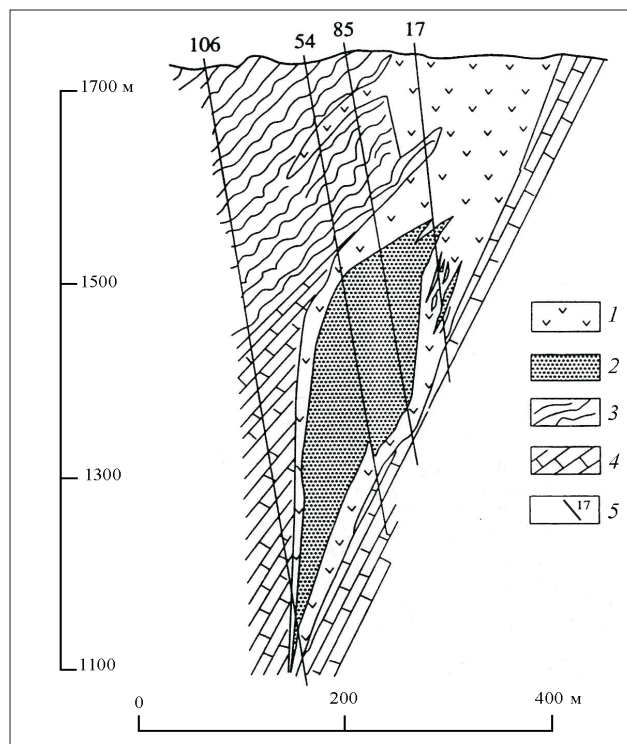


Рис. 2. Разрез месторождения Джиньчуань (Маракушев и др., 2000).

1 – лерцолиты; 2 – рудные тела; 3 – мигматиты; 4 – мрамора; 5 – скважины.

ются лерцолиты и сульфидоносные дуниты. Они состоят из оливина с железистостью близкой к 15, ортопироксена с несколько более низкой железистостью и клинопироксена, железистость которого равна 10. Лерцолиты по составу приближаются с одной стороны к дунитам, а с другой к вебстеритам. Дуниты, к которым приурочены сульфидоносные тела, обособлены от лерцолитов, залегая в основании и лежащем боку массива, выклинивающегося с глубиной. Сульфиды цементируют зерна оливина, образуя сульфидный вариант сидеронитовой структуры. Количество сульфидов в дунитах варьирует от десятых долей до 30 мас. %. Руды характеризуются широкими вариациями содержаний никеля (до 3%), меди (до 4%), платины (до 9 г/т), палладия (до 0.8 г/т), рутения, иридия, осмия (до 0.2 г/т каждого), родия (до 0.1 г/т). Отношение Ni/Cu равно 1.3, Pt/Pd составляет 3.3. Наблюдается тенденция повышения рудоносности пород от апикальной части массива и эндоконтактов рудных тел, сложенных сравнительно бедными сульфидами мелкозернистыми оливиновыми вебстеритами к их центральным частям, представленным дунитами, в которых сосредоточены вкрапленные руды. В границах рудоносных дунитов в небольшом количестве встречаются массивные сульфидные руды – пентландит-пирротинные и халькопиритовые, в основном развитые на

юго-восточном фланге месторождения. В целом, сульфидные руды занимают около 37% объема интрузивного тела. Содержание магния в породах Джиньчуанского массива варьирует от 22.53 до 30.07 в рудоносных дунитах, и от 25.86 до 41.14 мас. % в лерцолитах (Маракушев и др., 2000). Это позволяет отнести месторождение к повышенно магниезальной габбро-пироксенит-перидотитовой формации по А.П. Лихачеву (2006). Запасы сульфидных руд месторождения достигают 515 млн. т при среднем содержании никеля 1.3% (Конников и др., 2004).

Йоко-Довыренский никеленосный массив расположен в Северном Забайкалье России, в пределах внешнего пояса байкалид, обрамляющих с юга Северо-Азиатский кратон. Рудовмещающей структурой служит Сынныртский рифт, сложенный карбонатно-сланцево-кварцитовыми осадочными образованиями довыренской серии, перекрытыми вулканитами иньяптукской (пикритовые базальты) и сынныртской (базанит-базальт-трахидациты) свит рифея (около 700 млн. лет). В подстилающих вулканиты породах широко развиты ультрамафитовые и мафитовые интрузивы довыренского комплекса (700-740 млн. лет). Одним из них является Йоко-Довыренский расслоенный дунит-троктолит-габбровый массив площадью около 80 кв. км (рис. 3). Возраст его оценивается в  $739 \pm 55$  млн. лет (Конников, Кислов, 2000). В разрезе массива отчетливо выделяются три части (снизу вверх): нижняя плагиоперидотитовая, средняя дунит-троктолитовая и верхняя, состоящая из оливинового габбро и оливинового габбро-норита (Конников и др., 1995).

Плагиолерцолитовый приподошвенный горизонт содержит сингенетичное сульфидное медно-никелевое оруденение вкрапленного типа, а прототектонические трещины этого горизонта инъецированы жилами массивных сульфидов. Вкрапленные руды образуют тела мощностью от 8-25 до 80 м и протяженностью 1400-1700 м. Параметры горизонтального сечения жил массивных руд обычно составляют  $(15-50) \times (0.2-1.5)$  м. Одна из жил мощностью 1 м протягивается на 650 м. Среди рудных минералов преобладают пирротин, пентландит и халькопирит. Вкрапленные руды бедные и содержат в среднем 0.5% никеля и 0.3% меди. Концентрация никеля в массивных рудах достигает 2.1%, меди — 0.64%. Ni/Cu отношение меняется от 1.7 во вкрапленных рудах до 3.3 в массивных. В сульфидных рудах установлена примесь благородных металлов (в г/т): палладий до 2.2, платина до 0.5 и золото до 0.32.

На северо-восточной окраине Сино-Корейского кратона расположен ряд небольших по запасам, но с богатыми рудами медно-никелевых месторождений, связанных с мелкими интрузивными телами роговообманковых базитов: Самхэ, Пуюдон, Токсан и др. (Зимин, 1973). Месторождение Самхэ приурочено к наиболее крупному массиву роговообманковых базитов, ширина выхода которого достигает 1 км, а длина — 10 км. Массив вытянут в северо-восточном направлении и круто наклонен на северо-запад ( $70-80^\circ$ ). Вмещающими породами служат биотитовые гнейсы и амфиболиты нижнего протерозоя. В составе массива преобладают роговообманковые габбро, которые постепенно переходят в горнблендиты, а последние — в кортландиты. В габбро и в габбро-плагиоклазитах содержание окиси магния меняется от 6.74 до 6.97 мас. %, в горнблендитах и кортландитах — от 12.60 до 23.09 мас. %. К фациям горнблендитов и кортландитов, мощностью 50-70 м, которые прослеживаются по всей длине интрузива, приурочены залежи медно-никелевых руд. Рудоносная интрузия впоследствии была прорвана и метаморфизована мелкими телами докембрийских и палеозойских гранитов и диоритов, а также связанных с ними пегматитов и кварцевых жил. При этом никеленосные породы местами превращены в плагиоклазиты, а также в гранатовые,

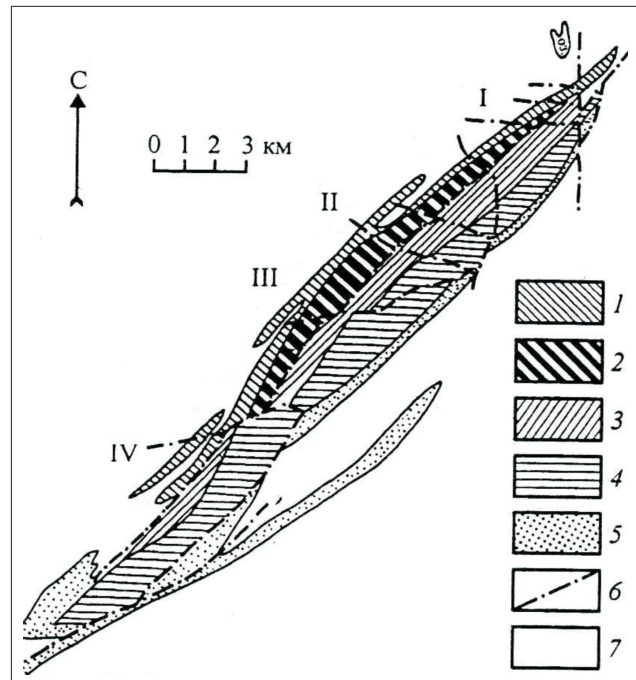


Рис. 3. Схема строения Йоко-Довыренского рудоносного массива (Конников и др., 1995).

1 — плагиоперидотиты приподошвенного слоя; 2-4 — расслоенная серия: 2 — плагиодуниты, дуниты, верлиты, 3 — ритмическое чередование плагиодунитов, троктолитов, оливиновых габбро; 4 — массивные оливиновые габбро-нориты, 5 — гранофировые габбро-нориты; 6 — разрывные нарушения, 7 — вмещающие породы. Участки с богатым сульфидным оруденением: I — Озерный, II — Центральный, III — Большой, IV — Рыбачий.

звивными телами роговообманковых базитов: Самхэ, Пуюдон, Токсан и др. (Зимин, 1973). Месторождение Самхэ приурочено к наиболее крупному массиву роговообманковых базитов, ширина выхода которого достигает 1 км, а длина — 10 км. Массив вытянут в северо-восточном направлении и круто наклонен на северо-запад ( $70-80^\circ$ ). Вмещающими породами служат биотитовые гнейсы и амфиболиты нижнего протерозоя. В составе массива преобладают роговообманковые габбро, которые постепенно переходят в горнблендиты, а последние — в кортландиты. В габбро и в габбро-плагиоклазитах содержание окиси магния меняется от 6.74 до 6.97 мас. %, в горнблендитах и кортландитах — от 12.60 до 23.09 мас. %. К фациям горнблендитов и кортландитов, мощностью 50-70 м, которые прослеживаются по всей длине интрузива, приурочены залежи медно-никелевых руд. Рудоносная интрузия впоследствии была прорвана и метаморфизована мелкими телами докембрийских и палеозойских гранитов и диоритов, а также связанных с ними пегматитов и кварцевых жил. При этом никеленосные породы местами превращены в плагиоклазиты, а также в гранатовые,

флогопитовые, актинолитовые и хлоритовые сланцы.

Сульфидные медно-никелевые руды месторождения Самхэ разделены С.С. Зиминим (1973) на сингенетичные и эпигенетичные разности. Первые представлены вкрапленностью пирротина, пентландита и халькопирита в кортландитах и горнблендитах. Ввиду небольших содержаний никеля и меди, они не представляют промышленного интереса. Главную ценность месторождения составляют эпигенетичные руды. Они состоят в основном из пирротина с примесью пентландита и халькопирита, а метаморфизованные разности из пентландита и пирита с подчиненным количеством пирротина и халькопирита. По текстурно-структурным особенностям выделяются массивные, брекчиевидные, прожилково-вкрапленные и вкрапленные руды, которые можно наблюдать в одном рудном теле при переходе от центральной его части к периферии.

Рудные залежи чаще всего имеют форму линз длиной 100–300 м и мощностью 10–30 м. Глубина их распространения превышает 200 м. Реже встречаются мелкие залежи изометричной или грибовидной формы. Линзовидные тела приурочены к продольным зонам дробления кортландитов и горнблендитов. В них же встречаются и изометричные, быстро выклинивающиеся с глубиной залежи. Грибовидные тела встречаются реже и характеризуются меньшими размерами. Они расположены в зонах расщепления поперечного и диагонального простирания по отношению к никеленосным зонам дробления (рис. 4).

Месторождение Токсан представлено дайкообразным интрузивом, сложенным горнблендитами. Длина его достигает 700 м при мощности 10–20 м. Дайка прорывает гнейсовидные граниты протерозоя и в свою очередь, прорвана конгадиабазами и мезозойскими гранитами. Она полого (10–20°) склоняется в юго-восточном направлении. Сульфидные руды приурочены к придонной части интрузива. У подошвы его располагаются массивные руды, сменяющиеся кверху брекчиевидными и прожилково-вкрапленными (рис. 5).

### ПАЛЕОЗОЙ

В герцинское время было сформировано месторождение Колотонк. Оно расположено в Восточно-Джунгарской складчатой области герцинид северо-западного Китая. Месторождение приурочено к одноименному пикрит-долеритовому интрузиву, прорывающему углистые аргиллиты, алевролиты и мергели найманшанской свиты раннего карбона (Глотов

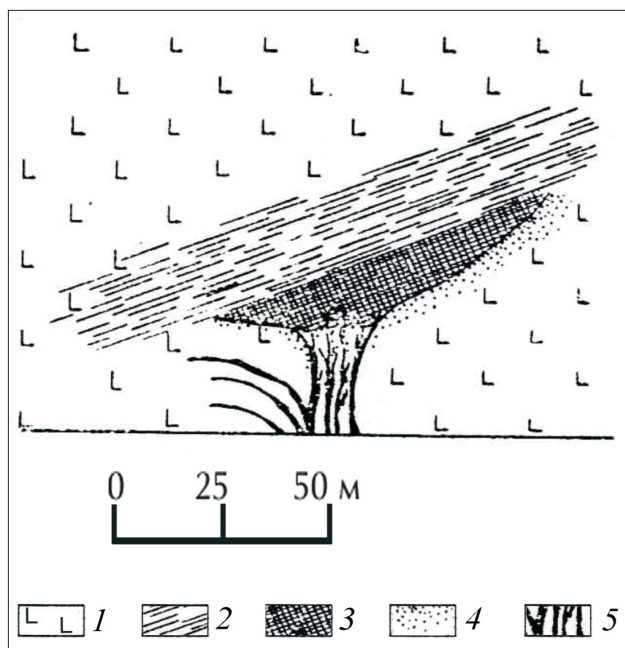


Рис. 4. Рудное тело грибовидной формы месторождения Самхэ (Зимин, 1973).

1 – кортландиты; 2 – сильно расщепленные кортландиты; 3 – брекчиевидные прожилково-вкрапленные руды; 4 – вкрапленные руды; 5 – массивные руды.

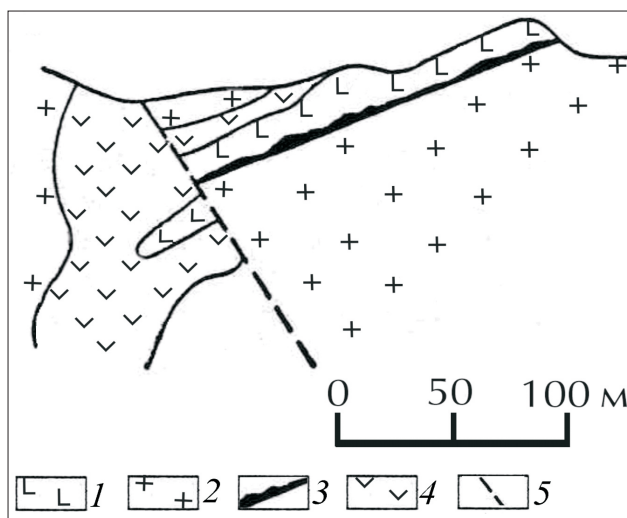
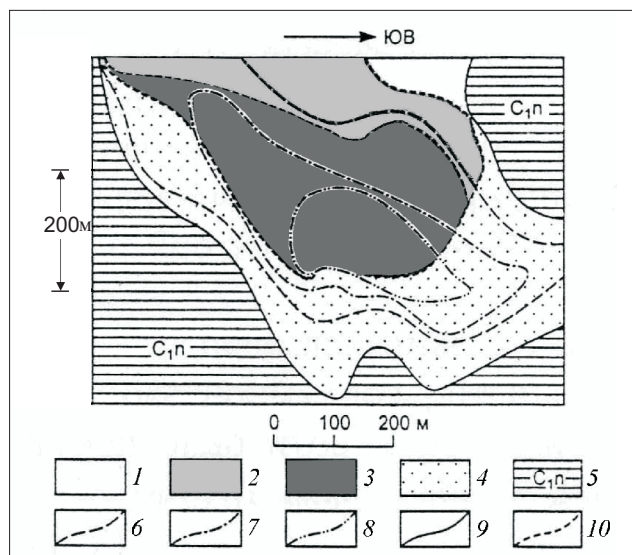


Рис. 5. Разрез по простиранию месторождения Токсан (Зимин, 1973).

1 – горнблендиты; 2 – серые гнейсовидные граниты; 3 – медно-никелевые руды массивные (внизу) и прожилковидные вверх от подошвы рудной залежи; 4 – дайки конгадиабазов; 5 – разлом

и др., 2002). Радиологический возраст пикрит-долеритового комплекса, определенный Rb-Sr (298–285 млн. лет) и K-Ar (295–273 млн. лет) методами, отвечает позднему карбону – ранней перми. На поверхности рудоносный интрузив имеет линзовидную форму с размерами 700x300 м (рис. 6). В вертикальном разрезе интрузива выделяются три зоны (снизу вверх):



**Рис. 6.** Геологический разрез рудоносного интрузива Колотонк (Глотов и др., 2002).

1 – диорит; 2 – норит; 3 – переслаивание оливковых норитов, дупироксеновых пикродолеритов и амфиболовых плагиоперидотитов; 4 – габбро-диабазы; 5 – углистые аргиллиты, алевролиты и мергели; 6-8 – контуры преобладающих типов Cu-Ni руд: 6 – бедные вкрапленные, 7 – вкрапленные и гнездово-вкрапленные; 8 – богатые прожилково-вкрапленные до массивных; 9 – геологические границы; 10 – постепенные переходы.

– биотит-амфиболовые габбро-диабазы нижнего эндоконтакта (до 200 м);

– переслаивание биотит-амфиболовых норитов, оливин-дупироксеновых долеритов и пикродолеритов с амфиболовыми плагиоперидотитами (до 300 м);

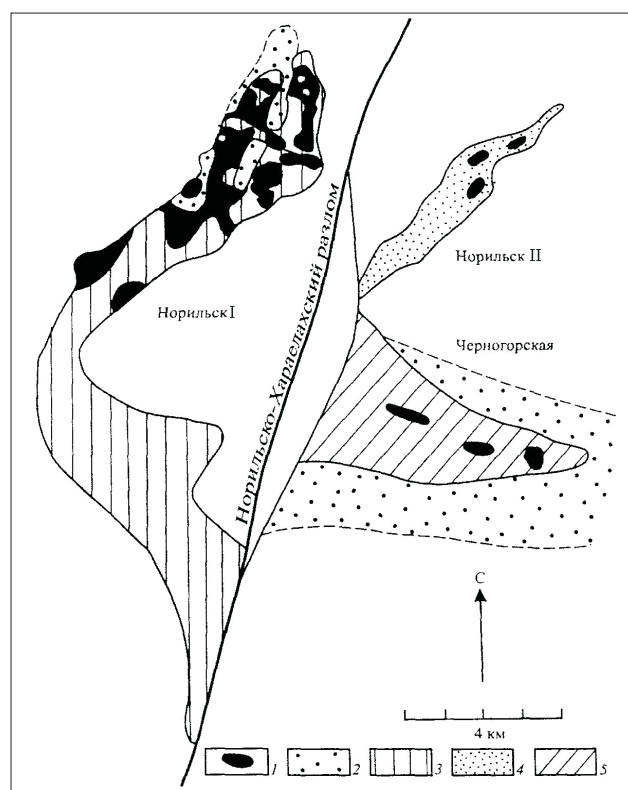
– биотит-амфиболовые диориты верхнего эндоконтакта (около 100 м).

Богатые прожилково-вкрапленные до массивных сульфидные Cu-Ni руды залегают в нижней части зоны переслаивания основных и ультраосновных пород. Среднее содержание никеля в них – 3.5%, меди – 6.1%. Отношение Ni/Cu = 0.57. Они окружены ореолом вкрапленных руд со средним содержанием никеля – 0.63% и меди – 0.96%. Отношение Ni/Cu в них равно 0.66. Минеральный состав руд пентландит-пирротин-халькопиритовый. Содержания благородных металлов достигают (в г/т): Pt – 109-820, Pd – 110-480, Au – 4.7, Ag – 160. Содержание магния в сульфидсодержащих породах массива Колотонк меняется от 15.16 до 23.44 мас. %. Это позволяет отнести данное месторождение к умеренно магнезиальной габбро-пикрит-долеритовой формации (Лихачев, 2006).

## МЕЗОЗОЙ

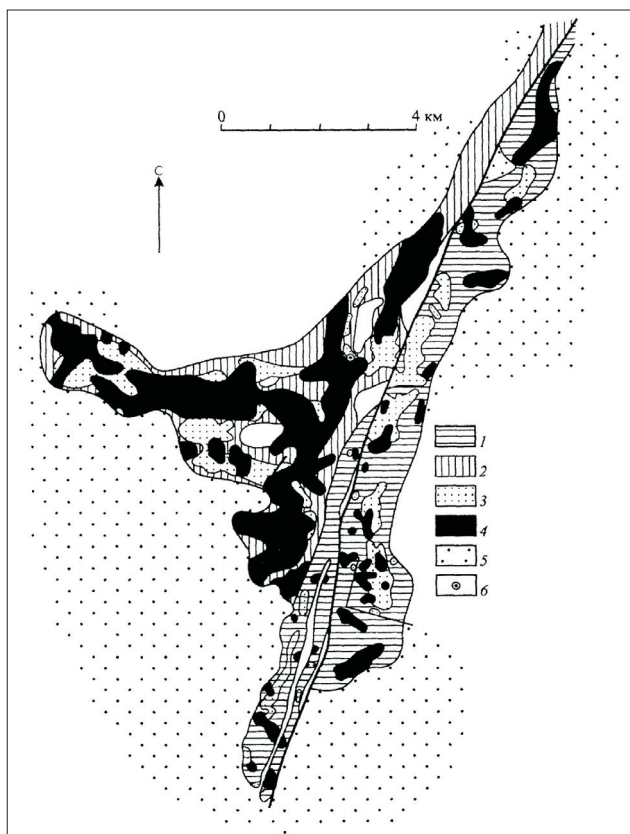
Норильский рудный район находится

на северо-западной оконечности Северо-Азиатского кратона. В его пределах известны гигантские медно-никелевые месторождения, размещающиеся в Норильском и Талнахском рудных полях. Они связаны с дифференцированными интрузиями габбро-долеритов. Рудоносные интрузии Норильск-1, Норильск-II и Черногорская находятся в Норильском рудном поле (рис. 7), а Талнахская и Хараелахская – в Талнахском (рис. 8). Рудные поля приурочены к центральным частям мульд, сложенных трапповыми платобазальтами и вытянуты в север-северо-восточном направлении вдоль Норильско-Хараелахского разлома (рис. 7). Интрузии Норильск-1 и Норильск-II залегают в карбон-пермских терригенных отложениях Тунгусской серии и в основании базальтовой толщи верхней перми – нижнего триаса; Талнахская – в породах Тунгусской серии и частично девона, Хараелахская и Черногорская – среди девонских хемогенных отложений. Интрузии Норильск-1, Талнахская и Хараелахская прослеживаются на расстояние до 20 км и более в виде пологосекущих межформационных, вытянутых лентовидных, уплощенных трубообразных и лополитоподобных тел мощностью от 50 м и менее до 300 м и шириной 500-2000 м.



**Рис. 7.** Распределение рудоносных интрузий в Норильском рудном поле (Лихачев, 2006).

1 – «внутреннее» лейкократовое габбро, 2 – силл габбровый; 3-5 – интрузии: 3 – Норильск I; 4 – Норильск II; 5 – Черногорская.



**Рис. 8.** Талнахское месторождение (Лихачев, 2006). 1 – Талнахская интрузия; 2 – Хараелахская интрузия; 3 – тела массивных руд; 4 – «внутреннее» габбро; 5 – силл лейкократового габбро («внешнее» габбро); 6 – буровая скважина. Белые участки – места, где нет интрузивных тел.

Интрузия Норильск-II представляет собой крутонаклонное дайкообразное тело. Черногорская интрузия, в отличие от остальных ориентирована в восточном направлении. Определение абсолютного возраста интрузий K-Ar методом показало следующее: Норильск-1 от  $247.2 \pm 1.1$  до  $246.2 \pm 2.2$  млн. лет, Талнахская –  $249.4 \pm 1.5$  млн. лет, Хараелахская –  $248.0 \pm 1.6$  млн. лет, то есть радиологическая датировка соответствует раннему триасу (Лихачев, 2006).

Никеленосные интрузии Норильского рудного района состоят из центральной рудоносной и периферических со следами сульфидов фаций. Первая из них представляет основную, вытянутую в одном направлении интрузию, а вторая – сравнительно маломощные плоские силлообразные ответвления. У рудоносной фации интрузива имеются также небольшие дайкообразные апофизы. Основная фация интрузии представлена однотипным набором пород, располагающихся в следующей последовательности (снизу вверх): мелкозернистый приконтактный габбро-долерит, такситовый и пикритовый габбро-долериты, составляющие рудоносные и безрудные горизонты интрузива,

сульфидоносный оливин-биотитовый, слабо-сульфидоносные оливиновый, оливинсодержащие и безоливиновые габбро-долериты и габбро-диориты. Вверху находятся фрагментарные сульфидосодержащие горизонты контактовых, такситовых и пикритовых габбро-долеритов и лейкократового габбро. Силлообразные ответвления состоят из сульфидсодержащего лейкократового габбро, занимающего верхнюю часть тел, а также таксито-пойкилоофитового габбро-долерита, составляющего нижнюю их часть. Дайкообразные апофизы сложены отдельными дифференциатами интрузий – оливиновыми, пикритовыми, такситовыми и троктолитовыми габбро-долеритами (Лихачев, 2006). Содержание окиси магния в никеленосных интрузиях Норильского рудного района меняется от 2 до 29% (плаггиоклазсодержащие оливиниты), достигая средних значений 9-12% в оливиновых долеритах (Додин и др., 2000).

Сульфидное медно-никелевое оруденение представлено вкрапленностью рудных минералов в пикритовых, такситовых и мелкозернистых приконтактных габбро-долеритах; брекчиевидных, прожилково-вкрапленных и вкрапленных руд, в основном в породах нижних горизонтов, а также в виде жильных и массивных руд, залежи которых локализованы преимущественно в породах нижних эндо- и экзоконтактов интрузий. В верхних эндо- и экзоконтактных зонах интрузий размещаются участки бедной вкрапленной минерализации. Главными рудными минералами являются пирротин, халькопирит, пентландит, кубанит, талнахит, моихукит, магнетит, а также другие сульфидные минералы – борнит, халькозин, ковеллин, хизлевудит, миллерит, годлевскит. Широко развиты минералы элементов платиновой группы, золота и серебра.

По преобладанию в рудах тех или иных минералов выделены следующие типы руд: пирротиновые, кубанитовые, халькопиритовые и талнахитовые. Среднее содержание никеля в типах руд несколько увеличивается в указанном ряду от 3.81-4.64 мас. % в пирротиновых рудах до 5.08-5.09 мас. % в талнахитовых. Содержание меди значительно возрастает в ряду от пирротиновых руд (3.14-4.94 мас. %) к кубанитовым (8.69-15.75 мас. %), халькопиритовым (24.98 мас. %) и талнахитовым (25.05 мас. %). Ni/Cu отношение меняется от 0.9-1.2 в пирротиновых рудах до 0.2 в талнахитовых (Додин и др., 2000).

Из благородных металлов наибольшее значение в рудах имеют палладий и платина. Содержание палладия меняется от десятых долей до десятков, иногда сотен грамм на тонну, платины – от десятых долей до первых иногда десятков грамм на тонну. Максимальные содержания платины (десятки грамм на тонну) и

палладия (сотни грамм на тонну) установлены в пентландит-халькопиритовых рудах месторождения Норильск-1 при отношении Pt/Pd=0.4 (Додин и др., 2000).

Месторождения рудного поля Хунчилин находятся на северо-востоке Китая, на стыке Сино-Корейского кратона с палеозойскими складчатыми структурами (Конников и др., 2004). Рудное поле представляет собой крупный останец палеозойских глубоко метаморфизованных пород серии Хулан (эпидотовая и эпидот-амфиболитовая фации метаморфизма), превращенных в амфибол-биотит-гранатовые гнейсы, плагиогнейсы, амфиболиты и мрамора. Согласно K/Ar датировкам, метаморфизм серии Хулан в районе месторождения имеет поздне триасовый возраст (225 млн. лет). Метаморфиты, вмещающие рудоносные интрузии габбро-перидотитового состава имеют возраст согласно K/Ar датировкам – 220 млн. лет. Два из этих интрузивов, находящихся в пределах Хунчилинского рудного поля, рудоносны – к ним приурочены среднее и крупное по запасам медно-никелевые месторождения.

Интрузив № 1 имеет лополитообразную форму с размерами 980×180×560 м (рис. 9). Лополит отчетливо дифференцирован, сверху вниз в нем наблюдается последовательная смена пород от габбро-норитов (1 об. %), бронзититов (6 об. %) и перидотитов (89 об. %) до оливиновых пироксенитов (4 об. %). Последние вмещают основную массу вкрапленных сульфидов и являются медно-никелевой рудой. Реже вкрапленность сульфидов встречается в перидотитах. Также имеются жилы, сложенные массивными сульфидными рудами. В оливиновых бронзититах среднее содержание сульфидов составляет 35%. Главные рудные минералы – пирротин (около 60%), пентландит (30%) и халькопирит (5%), второстепенными являются магнетит, пирит, валлериит и ильменит. Отношение в рудах Ni/Cu равно 5. В жилах массивных сульфидов содержание никеля достигает 10 мас. %, а отношение Ni/Cu составляет 20.

Интрузив № 7 представляет собой крупную дайку, наклоненную на северо-восток под углом 75-80°. Размеры ее на поверхности составляют 30-70×900 м. Дайка сложена на 96%

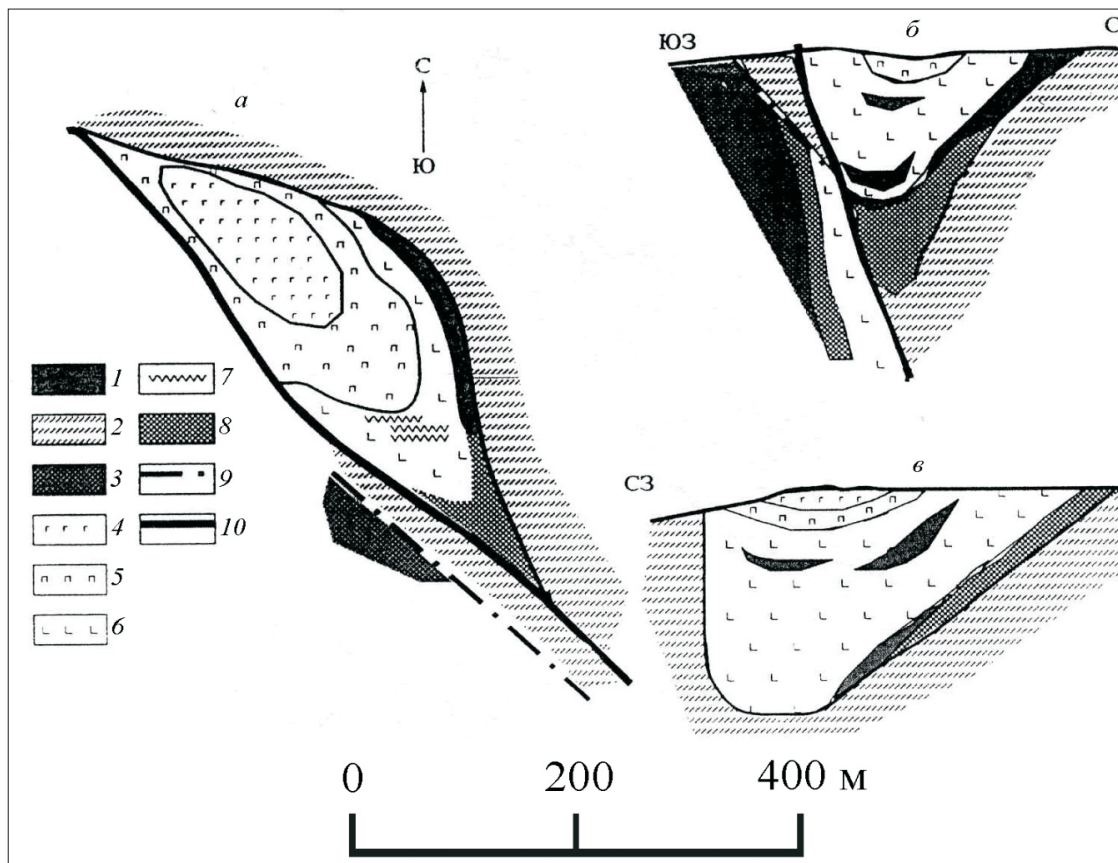


Рис. 9. Месторождение Хунчилин (Конников и др., 2004). а – план; б-в – профили: б – поперечный, в – продольный.

1 – бедная сингенетичная сульфидная вкрапленность; 2 – вмещающие гнейсы; 3 – амфиболиты; 4 – габбро-нориты; 5 – пироксениты; 6 – плагиоклазовые перидотиты; 7 – дайки габбропегматитов и анортозитов; 8 – промышленные медно-никелевые сульфидные руды в оливиновых пироксенитах; 9 – зоны расщелачивания; 10 – разломы.



ортопироксенитами, содержащими 8-9 об. % сульфидов и практически вся является рудным телом. В краевых зонах интрузии развиты приконтактные нориты, а также плагиоклазиты и амфиболсодержащие гарцбургиты, реже дуниты. Сульфидные руды характеризуются сидеронитовой структурой, реже представляют собой рассеянную вкрапленность и желваки. Руды, как и в интрузии №1, состоят из пирротина, пентландита и халькопирита. Руды более медистые. Отношение Ni/Cu равно 3.3. В жилах массивных сульфидных руд отношение никеля к меди возрастает до 5.2. Они состоят из пирротина (58%), пентландита (35%) и халькопирита (5%), второстепенные минералы представлены пиритом, виоларитом, миллеритом, никелином, валлериитом, молибденитом, магнетитом и ильменитом. Содержание никеля в этом типе руд достигает 14 мас. %. По составу вмещающих интрузивных пород и отношению никеля к меди в рудах, месторождения рудного поля Хунчилинь можно отнести к повышенно магнезиальной габбро-пироксенит-перидотитовой формации с умеренно бедными медью платино-медно-никелевыми рудами (Лихачев, 2006).

Следующий, раннемеловой этап медно-никелевого оруденения представлен серией небольших рудопроявлений, расположенных на южной окраине Северо-Азиатского кратона, в пределах Дамбукинского метаморфического блока, сложенного раннеархейскими образованиями. Рудопроявлениями являются небольшие оруденелые интрузии, дайки и силлы кортландит-пироксенит-габбрового комплекса (Степанов и др., 2008). В базитах и ультрабазитах присутствует вкрапленность сульфидов – пирротина, халькопирита и пентландита в количестве до 1-5% (вкрапленные руды). Нередко количество сульфидов увеличивается до 10-20 и более %, образуя эпигенетические прожилковые и массивные руды. Возраст медно-никелевого оруденения оценивался двумя независимыми методами: Rb-Sr по серициту из медно-никелевых руд, который дает возраст в  $110 \pm 28$  млн. лет, то есть ранний мел (Степанов и др., 2006), и U-Pb методом по цирконам из интрузий габбро и пироксенитов, абсолютный возраст оруденения в этом случае определяется в пределах  $121 \pm 1.8$  млн. лет, что тоже отвечает раннему мелу (Стриха и др., 2006).

### КАЙНОЗОЙ

Кайнозойский этап формирования медно-никелевого оруденения проявлен в пределах Камчатской никеленосной провинции, приуроченной к обрамлению Камчатского срединного массива (Селянгин, 2003, 2007; Трухин и др.,

2008). Здесь известно месторождение Шануч и ряд медно-никелевых проявлений, приуроченных к норит-кортландитовым интрузиям и дайкам дукукского комплекса. Шанучское месторождение слагают тела массивных, брекчиевых, прожилковых и вкрапленных халькопирит-пентландит-пирротиновых руд, приуроченные к крутонаклонным дайкообразным интрузиям кортландитов, амфиболовых габбро и диоритов. Определение абсолютного возраста выполнено Rb-Sr методом по мономинеральным пробам биотита и роговой обманки, отобранных из никеленосных интрузий. Изохрона дает  $49.2 \pm 2.7$  млн. лет, что отвечает эоценовой эпохе (Степанов, Трухин, 2007).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный краткий обзор современных литературных представлений о медно-никелевых месторождениях востока Евразии показал разновозрастность формирования медно-никелевого оруденения, приуроченность проявлений его к окраинам кратонов, обрамляющим их складчатым областям или к срединным массивам, а также разнообразие формационной принадлежности рудоносных интрузий основного-ультраосновного состава. Наиболее крупные месторождения Норильск и Талнах, а также месторождение Джиньчуань расположены на окраинах кратонов. Они отнесены к умеренно магнезиальной габбро-пикрит-долеритовой и повышенно магнезиальной габбро-пироксенит-перидотитовой формациям. Мелкие и средней крупности месторождения приурочены к обрамляющим кратоны складчатым областям (Хунчилинь, Йоко-Довыренское, Колотонк и др.), а также к срединным массивам (Шануч). Формационная принадлежность этих месторождений меняется в широких пределах от высоко магнезиальной пироксенит-перидотитовой (Кингаш) и повышенно магнезиальной габбро-пироксенит-перидотитовой (Йоко-Довыренское, Хунчилинь) до умеренно магнезиальной габбро-пикрит-долеритовой формации (Колотонк). Месторождения Северной Кореи и Камчатки представляют регенерированную формацию рогообманковых базитов.

Наблюдается достаточно отчетливая зависимость состава никеленосных интрузий рассматриваемого региона от их возраста. Наиболее древние месторождения ранне и среднепротерозойского возраста (Кингаш, Джиньчуань) связаны с высоко и повышенно магнезиальными интрузиями пироксенит-перидотитового и габбро-пироксенит-перидотитового состава. Их сменяют в позднем протерозое никеленосные формации повышенно магнезиальной габбро-

пироксенит-перидотитовой формации (Йоко-Довыренское месторождение), а также серия мелких месторождений регенерированного типа (Самхэ, Токсан и др.).

Далее, в герцинское и раннетриасовое время внедряются главным образом, никеленосные интрузивы умеренномагнезиальной габбро-пикрит-долеритовой формации (Колотонк, Норильск, Талнах). Поздний триас знаменуется формированием месторождения Хунчилин повышенно магнезиальной габбро-пироксенит-перидотитовой формации. В раннемеловое время был сформирован ряд рудопроявлений регенерированной формации амфиболовых базитов Дамбукинского узла Верхнего Приамурья. Кайнозойский этап образования медно-никелевых месторождений проявлен на Камчатке (месторождение Шануч). Так же, как и приамурские рудопроявления, это месторождение относится к регенерированному типу формации амфиболовых базитов.

#### Список литературы

- Глов А.И., Кривенко А.П., Поляков Г.В., Уварова Е.А.* Петрология сульфидного медно-никелевого месторождения Колотонк // Геология и геофизика. 2002. Т. 43. № 11. С. 990-1001.
- Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А.* Платинометалльные месторождения России. СПб: Наука, 2000. 755 с.
- Еханин А.Е., Колчин А.В., Пантелеев А.В. и др.* Минерально-сырьевые ресурсы Красноярского края // Разведка и охрана недр. 2004. № 6. С. 2-23.
- Зимин С.С.* Формация никеленосных роговообманковых базитов Дальнего Востока. Новосибирск: Наука, 1973. 90 с.
- Конников Э.Г., Кислов Е.В.* Тренды эволюции состава никеленосных комплексов и эпохи сульфидного Cu-Ni-платинометалльного рудообразования в докембрии // ДАН. 2000. Т. 374. № 4. С. 517-519.
- Конников Э.Г., Орсов Д.А., Кислов Е.В., Миронов А.Г.* Платиноносность расслоенных интрузивов и черносланцевых толщ докембрия Забайкалья // Платина России. Т. 2. Кн. 2. М.: Геоинформмарк, 1995. С. 139-149.
- Конников Э.Г., Хунцуйань Янь, Айхуа Си, Сун Дэю.* Сульфидные никелевые месторождения рудного поля Хунчилин (провинция Цзилин, Китай) // Геология рудных месторождений. 2004. Т. 46. № 4. С. 346-354.
- Лихачев А.П.* Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. М.: Эслан, 2006. 496 с.
- Маракушев А.А., Панеях Н.А., Зотов А.И. и др.* Медно-никелевое месторождение Джиньчуань в Китае и зависимость платиноносности гипербазитов от их щелочности // Геология рудных месторождений. 2000. Т. 42. № 5. С. 440-458.
- Парфенов Л.М.* Террейны и история формирования мезозойских орогенных поясов Восточной Якутии // Тихоокеанская геология. 1995. № 6. С. 32-43.
- Селянгин О.Б.* Петрология никеленосных базитов Шанучского рудного поля // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2003. № 2. С. 33-55.
- Селянгин О.Б.* Новые данные о строении и эволюции никеленосного интрузива Кувалорог, Южная Камчатка // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2007. № 1. Вып. 9. С. 111-126.
- Степанов В.А., Октябрьский Р.А., Гвоздев В.И.* Малые интрузии гипербазитов и медно-никелевое оруденение // ДАН. 2006. Т. 409. № 4. С. 514-517.
- Стриха В.Е., Степанов В.А., Родионов Н.И.* Раннемеловая кортландит-пироксенит-габбровая ассоциация Верхнего Приамурья: геохронологические и геохимические данные // ДАН. 2006. Т. 407. № 5. С. 664-668.
- Степанов В.А., Трухин Ю.П.* О возрасте Шанучского медно-никелевого месторождения Камчатки // ДАН. 2007. Т. 417. № 1 С. 84-86.
- Трухин Ю.П., Степанов В.А., Сидоров М.Д.* Камчатская никеленосная провинция // ДАН. 2008. Т. 418. № 6. С. 802-805.

МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВОСТОКА АЗИИ  
**COPPER-NICKEL DEPOSITS OF THE EAST OF EURASIA**

**V.A. Stepanov**

*Research Geotechnological Centre, FEB RAS, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002;  
e-mail: nigtc@ksc.iks.ru*

We surveyed certain giant, large, average and small sulfide copper-nickel deposits located in the east of Euroasia. They belong to the following nickeliferous magmatic formations: gabbro-picrite-dolerite (Norilsk, Talnakh, Kolotonk), gabbro-pyroxenite-peridotite (Dzhin'chuan', Khunchilin, Yoko-Dovyrenskoye), pyroxenite-peridotite (Kingash) and regenerated diorite-norite-pyroxenite-troctolite (Shanuch, Samkhe, Puyundon). Copper-nickel deposits formed during the long time line starting from the early Proterozoic (Kingash) till Mesozoic (Norilsk, Talkhan, Khunchilin) and Cenozoic (Shanuch). The largest deposits are confined to the cratons' margins, average and small deposits are confined to the middle massifs and to the orogens that frame cratons. The oldest deposits are located inside the intrusions with a high content of magnesium in comparison with the younger ones.

*Keywords: nickel, copper, deposit, sulfide, magmatic formation, Eurasia.*