

ПЛАТИНОИДНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫЕ ПРОВИНЦИИ СЕВЕРО-АЗИАТСКОГО КРАТОНА

Приведено описание геолого-структурной позиции, состава руд, возраста и генезиса месторождений платиноидно-медно-никелевых провинций (Таймыро-Норильская, Восточно-Саянская, Северо-Байкальская и Становая), расположенных вдоль окраин Северо-Азиатского кратона, а также основных сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений, генетически связанных как с интрузиями, так и с вулканитами (коматиитами) базит-ультрабазитового состава. Наблюдается многоэтапность формирования платиноидно-медно-никелевого оруденения от раннего протерозоя (месторождение Кун-Манье Становой провинции) до триаса (месторождения Норильск и Талнах Таймыро-Норильской провинции) и раннего мела (рудопоявления Дамбукинского района Становой провинции). Предполагается участие в формировании руд суперплюмов, зарождающихся на границе ядро–мантия.

Ключевые слова: *платиноидно-медно-никелевое месторождение, провинция, кратон, генезис, ультрабазиты, коматииты.*

The short description of a geology-structural position, composition of ores, age and genesis of deposits of platinum-copper-nickel provinces (Tajmyro-Norilsk, East Sayansk, North Baikal and Stanovaja), located along outskirts of the North Asian craton are resulted. The basic sulphide platinum-copper-nickel deposits genetically connected both with intrusions, and with vulcanite (komatiite) basite-ultrabasic composition are described. It is observed stages genesis of the platinum-copper-nickel metallization from an Early Proterozoic (Kun-Manie deposit of the Stanovaja province) to Triassic (Norilsk, Talnakh deposits of the Tajmyro-Norilsk province) and an early cretaceous (mineral occurrences of the Dambukinsky area of the Stanovaja province). Participation in formation of ores superplume, arising on border a core–mantle is supposed.

Keywords: *platinoidno-copper-nickel deposit, province, craton, genesis, ultrabasits, komatiits.*

Введение. В обрамлении Северо-Азиатского кратона, кроме уникальной по запасам и ресурсам никеля, меди и платиноидов Таймыро-Норильской провинции, располагаются и другие, менее известные и менее изученные – Восточно-Саянская, Северо-Байкальская и Становая. Анализ геоструктурной позиции провинций, состава руд, возраста и генезиса входящих в их состав месторождений позволит по-новому подойти к оценке платиноидно-медно-никелевого потенциала Северо-Востока России.

Геология и металлогения Северо-Азиатского кратона. Северо-Азиатский кратон представляет собой древнее жесткое ядро Северной Азии – протоконтинент, который увеличивался в размерах, последовательно обрстая более молодыми орогенными поясами. В составе его фундамента выделены позднearerхейские гранулитовые и гранит-зеленокаменные пояса с возрастом 2600–3300 млн лет. Наряду с ними расположены позднearerхейские прогибы и раннепротерозойские вулканические пояса с возрастом 1740–1675 млн лет. В основании чехла ограниченно развиты ранне-, средне- и позднерифейские отложения (1600–650 млн лет). Вендские отложения плащеобразно перекрывают большую часть фундамента и определяют верхний предел времени его стабилизации [22].

Здесь известны уникальные месторождения алмазов (Мир, Эбелях), редких элементов (Томтор), железа и других полезных ископаемых. Вдоль северо-западной, западной, юго-восточной и восточной окраин кратона закономерно, сменяя одна другую,

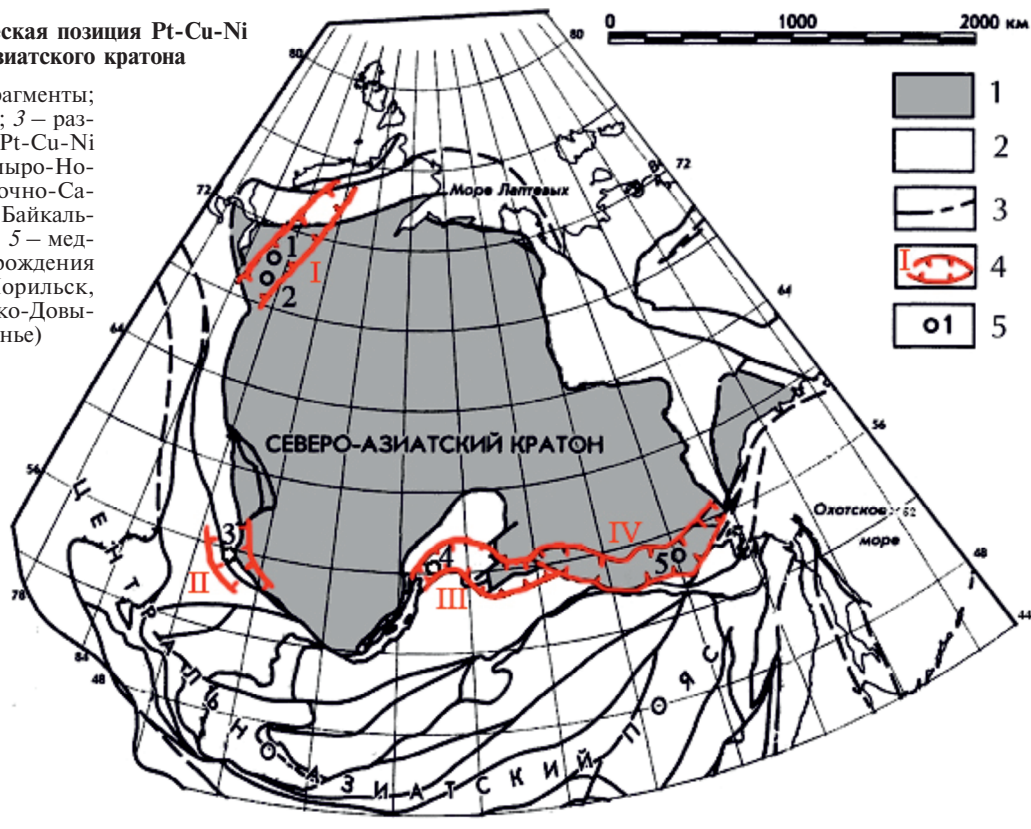
располагаются четыре платиноидно-медно-никелевые провинции (рис. 1): Таймыро-Норильская, Восточно-Саянская, Северо-Байкальская и Становая [3, 8, 11, 13, 27].

Таймыро-Норильская провинция. Уникальна по запасам сульфидных медно-никелевых месторождений. Расположена на северо-западной оконечности Северо-Азиатского кратона. Первооткрывателем ее является знаменитый полярный исследователь Н. Н. Урванцев [8, 6]. Провинция протянулась в северо-восточном направлении на 2000 км при ширине около 250 км. Она расположена на стыке древнего Приенисейского перикратонного прогиба и более молодой Норильско-Таймырской системы поднятий и впадин. Положение провинции определяется наличием Таймыро-Тунгусского внутрикратонного трога посткарельской стабилизации, структурно-вещественные комплексы которого образуют ее фундамент. Вдоль трога располагается пояс раннепротерозойских меденосных формаций. На его месте в мезозое развился Норильско-Харалахский прогиб, составной частью его является одноименный малый рифтовый трог, с формированием которого связаны крупные и уникальные платиноидно-медно-никелевые месторождения.

На юго-западном фланге провинции выделяется уникальный Норильский рудный район. Запасы металлов в его месторождениях (в том числе извлеченные) оцениваются в 23,2 млн т никеля и 46,7 млн т меди [20]. Эти запасы сосредоточены в гигантских медно-никелевых месторождениях в Норильском и Талнахском рудных полях и связаны с диффе-

Рис. 1. Геотектоническая позиция Pt-Cu-Ni провинций Северо-Азиатского кратона

1 – кратоны и их фрагменты;
2 – складчатые пояса; 3 – разломы; 4 – контуры Pt-Cu-Ni провинций (I – Таймыро-Норильская, II – Восточно-Саянская, III – Северо-Байкальская, IV – Становая); 5 – медно-никелевые месторождения (1 – Талнах, 2 – Норильск, 3 – Кингаш, 4 – Йоко-Довыренское, 5 – Кун-Манье)



ренцированными интрузиями габбро-долеритов. Рудоносные интрузии Норильск I, Норильск II и Черногорская находятся в Норильском рудном поле (рис. 2), а Талнахская и Хараелахская – в Талнахском. Рудные поля приурочены к центральным частям мульд, сложенных трапповыми платобазальтами, и вытянуты в север-северо-восточном направлении вдоль Норильско-Хараелахского разлома. Интрузии Норильск I 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 прослеживаются на расстоянии до 20 км и более в виде пологосекущих межформационных, вытянутых лентовидных, уплощенных трубообразных и лополитоподобных тел мощностью от 50 и менее до 300 м и шириной 500–2000 м. Интрузия Норильск II представляет собой крутонаклонное дайкообразное тело. Черногорская интрузия в отличие от остальных ориентирована в восточном направлении. Определение абсолютного возраста интрузий K-Ag методом: Норильск I от $246,2 \pm 2,2$ до $247,2 \pm 1,1$, Талнахская $249,4 \pm 1,5$, Хараелахская $248,0 \pm 1,6$ млн лет, т. е. радиологическая датировка соответствует раннему триасу [18].

Никеленосные интрузии Норильского рудного района состоят из центральной рудоносной и периферической слабосульфидоносной фаций. Первая из них – основная, вытянутая в одном направлении интрузия, а вторая – сравнительно маломощные плоские силлообразные ответвления. У рудоносной фации интрузива имеются также небольшие дайкообразные апофизы. Основная фация интрузии представлена однотипным набором пород, предполагающихся в следующей последовательности

(снизу вверх): мелкозернистый приконтактный габбро-долерит, такситовый и пикритовый габбро-долериты, составляющие рудоносные и безрудные горизонты интрузива, сульфидоносный оливин-биотитовый, слабосульфидоносные оливиновый, оливинсодержащие и безоливиновые габбро-долериты и габбродиориты. Вверху 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 [18]. Содержание окиси магния в никеленосных интрузиях Норильского рудного района 2–29% (плагиоклазсодержащие оливиниты), 9–12% в оливиновых долеритах [8].

Сульфидное медно-никелевое оруденение встречается в виде вкрапленности 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 экзоконтактовых зонах интрузий размещаются участки бедной вкрапленной минерализации. Главные рудные минералы: пирротин, халькопирит, пентландит, кубанит, талнахит, моихукит, магнетит, а также борнит, халькозин, ковеллин, хизлеудит, миллерит, голлевскит. Широко развиты минералы ЭПГ, золота и серебра.

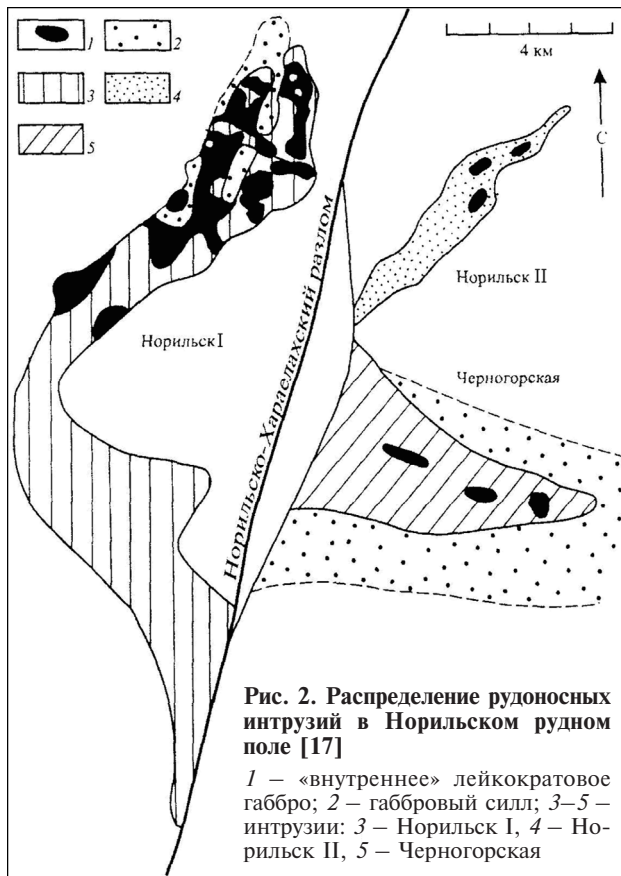


Рис. 2. Распределение рудоносных интрузий в Норильском рудном поле [17]
 1 – «внутреннее» лейкократовое габбро; 2 – габбровый силл; 3–5 – интрузии: 3 – Норильск I, 4 – Норильск II, 5 – Черногорская

По количеству в рудах тех или иных минералов выделены пирротиновые, кубанитовые, халькопиритовые и талнахитовые руды. В химическом их составе преобладают железо и сера. Содержание железа уменьшается от 49,37–54,82% в пирротиновых рудах до 38,72–51,04 в кубанитовых, 32,14% в халькопиритовых и 33,86% в талнахитовых. Содержание серы от 29,29 до 31,58%. Среднее содержание никеля несколько увеличивается от 3,81–4,64 в пирротиновых рудах до 5,08–5,09 мас.% в талнахитовых. Содержание меди значительно возрастает от пирротиновых руд 3,14–4,94 к кубанитовым 8,69–15,75, халькопиритовым 24,98 и талнахитовым 25,05 мас.%. Содержание кобальта незначительно уменьшается от 0,12–0,16 в пирротиновых рудах до 0,08–0,09% в халькопиритовых и талнахитовых, Ni/Cu невысокое, от 0,9–1,2 в пирротиновых рудах до 0,2 в талнахитовых [8].

Из благородных металлов наибольшее значение в рудах имеют палладий и платина. Содержание палладия от десятых долей до десятков, иногда сотен граммов на тонну, платины – от десятых долей до первых, иногда десятков граммов на тонну. Максимальные количества платины и палладия установлены в пентландит-халькопиритовых рудах месторождения Норильск I при отношении Pt/Pd 0,4 [8].

По мнению Д. А. Додина и Л. Л. Тарновецкого, формирование платиноидно-медно-никелевых месторождений Таймыро-Норильской провинции охватывает период от протерозоя до мезозоя и включает процессы коллизии; поддвига (скорее всего раннепермского) древней океанической коры, обогатившей флюидные потоки водой, серой и галогенидами; субдукции, обусловившей растяжение и рифтинг на платформе; абиссальной ликвации с

отслоением высоко- и низкосернистого расплава; камерной ликвации и кристаллизационной дифференциации; внутрирудного щелочного метасоматоза, а также образования мощных метасоматических и геохимических полей [7].

Общий металлогенический потенциал провинции оценивается в десятки миллионов тонн никеля и меди.

Восточно-Саянская провинция. Располагается в юго-западном складчатом обрамлении Северо-Азиатского кратона. Провинции отвечает восточная часть Алтае-Саянской складчатой области. Выделяются две металлогенические зоны: Канская и Бирюсинская. Наиболее перспективна Канская зона, в составе которой разведаны Кингашское и Верхнекингашское медно-никелевые месторождения.

Провинция открыта сравнительно недавно, поэтому на состав и возраст рудовмещающего комплекса существуют разные точки зрения, главные из них две – «коматиитовая» и «расслоенных интрузий». Согласно одной, Канской металлогенической зоне отвечает одноименный зеленокаменный пояс (ЗКП) раннепротерозойского возраста. Он прослеживается в северо-западном направлении вдоль Канского глубинного разлома. Пояс состоит из отложений караганской серии раннего протерозоя, метаморфизованной в эпидит-амфиболитовой и амфиболитовой фациях повышенных давлений [12]. Структура Канского ЗКП имеет резко выраженные линейные очертания и представляет собой крупную троговую зону, разбитую кососекущими и поперечными разломами. Вдоль нее широко развиты интрузивы и вулканиты основного и ультраосновного состава (коматииты). Пояс характеризуется четко выраженными положительными магнитными и гравитационными аномалиями. Медно-никелевое оруденение приурочено к ультрабазитам и базитам кингашского базальт-коматиитового комплекса и представлено вкрапленными и жильными типами. Основные рудные минералы – пирротин, пентландит и халькопирит.

Согласно другой точке зрения, платиноидно-медно-никелевое оруденение Канской металлогенической зоны связано с расслоенными интрузиями кингашского габбро-перидотитового комплекса позднеархейского возраста [3]. Они располагаются среди караганской амфиболито-гнейсовой формации, метаморфизованной в амфиболитовой фации.

В Канской металлогенической зоне разведаны два медно-никелевых месторождения – Кингашское и Верхнекингашское. Крупное медно-никелевое месторождение Кингаш расположено в верховье р. Кингаш (Саяны). Оно приурочено к северо-восточной периферии Канского зеленокаменного пояса раннего протерозоя [8, 9, 12]. В геологическом строении месторождения принимают участие метаморфические образования караганской серии и породы кингашского базальт-коматиитового комплекса. Они слагают Кингашскую флексуобразную синклинали, осложняющую северо-восточный борт Караганской синклинали (рис. 3). В основании рудоносного кингашского комплекса залегают биотитовые гнейсы, кварц-слюдистые сланцы, мраморы, кальцифиры с прослоями ортоамфиболитов, серпентинитов, кварцитов.

Рудоносная толща мощностью около 500 м сложена метаультрабазитами и метабазами. Она согласно залегают на мраморах и ортоамфиболитах

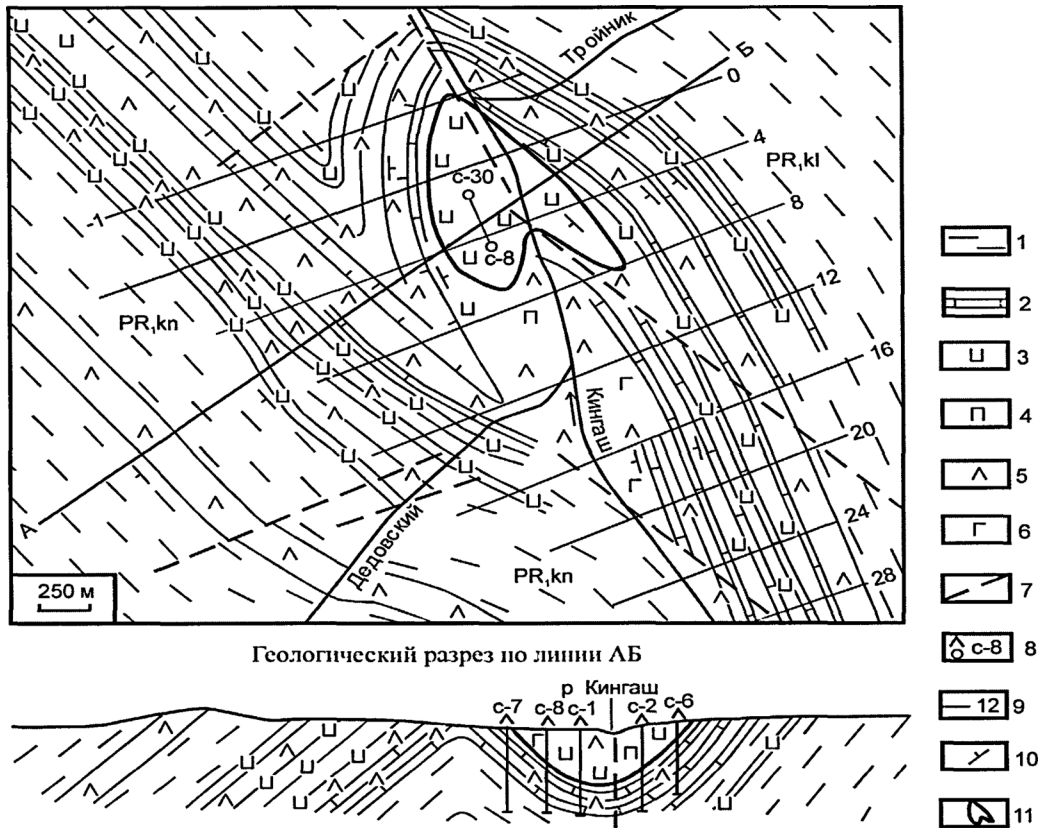


Рис. 3. План и разрез месторождения Кингаш [12]

1 – гнейсы гранат-биотитовые, амфиболовые, слюдяные сланцы; 2 – мраморизованные известняки, мраморы, кальцифиры; 3 – метакоматииты, метапироксениты и серпентиниты; 4 – метапикробазальты, метапироксениты и тремолит-актинолитовые породы; 5 – metabазальты, туфы и ортоамфиболиты; 6 – габбро, пироксениты и ортоамфиболиты; 7 – разломы; 8 – скважины и их номера; 9 – поисковые профили и их номера; 10 – элементы залегания слоистости; 11 – контур распространения рудных тел

нижней метакarbonатно-вулканогенно-терригенной пачки кингашской свиты и перекрыта гнейсами второй метатерригенной пачки. Основной объем руды приурочен к коматиитам, дунитам и перидотитам. Рудовмещающим является линзовидный интрузив (3000 × 700 м), близкий по форме к лополиту. Он сложен верлитами, дунитами, клинопироксенитами и габброидами. Дифференцированное строение массива выражено в смене снизу вверх по разрезу дунит-перидотит-верлитовых слоев габброидами. Содержание магния в породах от 11,14 до 36,61 мас.%. Время кристаллизации ультрамафитов и габброидов Кингашского массива оценивается в 1410–875 млн лет [4].

На месторождении Кингаш преобладают вкрапленные (интерстиционно-вкрапленные, гнездово-вкрапленные, сидеронитовые и шпирово-вкрапленные) руды с содержанием сульфидов до 20, в среднем 8%. Брекчиевидные, флюидально-полосчатые, прожилковые и массивные руды слагают жильные тела мощностью до 1,5 м.

В состав вкрапленных 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. Минералы благородных металлов – самородное золото, электрум, кюстелит, майченерит, фрудит, меренскит, соболевскит, котульскит, эрлихманит, ирарсит, иридарсенит и паоловит. Они образуют

зерна и сростки размером до 300 мк. Брекчиевые руды (брекчиевидно-полосчатые, брекчиевидно-флюидальные, брекчиевидно-пятнистые) развиты ограниченно. Состав их промежуточный между вкрапленными и массивными рудами. Массивные руды (флюидально-полосчатые, массивные, реже пятнистые и полосчатые) имеют гранобластовую и аллотриоморфнозернистую структуру. Флюидальность руд служит одним из аргументов коматиитового генезиса оруденения. Главные рудные минералы – пентландит, пирротин и халькопирит, реже отмечается кубанит. Второстепенные минералы – валлериит, магнетит и пирит. Минералы благородных металлов те же, что и во вкрапленных рудах. Содержание никеля в рудах от 0,3 до 3, в среднем 0,4% во вкрапленных рудах, до 6% в жильных. Концентрация меди от 0,1 до 1, в среднем 0,17%. Соотношение Ni/Cu 3–2:1. Количество благородных металлов невелико, в среднем Pt 0,22, Pd 0,19, Au 0,12, Ag 0,76 г/т [9].

В приповерхностной части месторождения распространены окисленные и силикатные руды. Их мощность достигает 40 м. Окисленные руды сложены гидроксидами железа (гетит, гидрогетит и др.), марказитом, гематитом, виоларитом. Реже встречаются борнит, ковеллин, халькозин и самородная медь. Силикатные руды приурочены к коре выветривания линейного типа. В ней установлены повышенные содержания силикатов никеля, а также вольфрамит, касситерит и минералы благородных

металлов – сплавы Au-Ag, аурикуприд, тетрааурикуприд, медистое золото, палладистое золото, амальгама золота и серебра, стибнопалладинит и др.

Несмотря на метаморфизм, базит-гипербазитовые породы месторождения подразделяются на вулканические (коматииты, пикриты, базальты и долериты) и плутонические (дуниты, верлиты, лерцолиты, пироксениты и габбро). Плутонические породы богаче железом, судя по средним составам коматиитов и дунитов. Можно предполагать, что именно плутонический базит-гипербазитовый комплекс был на месторождении рудоносным. При его формировании возникали богатые железом дифференциаты, подвергавшиеся флюидной сульфуризации [19].

Верхнекингашское месторождение расположено на водораздельной части рек Кингаш и Верхнее Куе. По условиям локализации и составу руд оно близко к Кингашскому месторождению. Ученные запасы обоих месторождений оцениваются по категориям С₁ и С₂ в 2 млн т никеля и 920 тыс. т меди. Общий потенциал прогнозных ресурсов Восточно-Саянской провинции: Ni 18760 и Cu 9717 тыс. т, МПГ 2085 т [3].

Северо-Байкальская провинция. Расположена в южном складчатом обрамлении Северо-Азиатского кратона [11, 13]. Она тянется от оз. Байкал до Приамурья на тысячу километров при ширине около 200 км. Медно-никеленосные комплексы Северо-Байкальской провинции сформированы в ранне- и позднепротерозойскую (байкальскую) металлогенические эпохи в геодинамических обстановках рифтогенеза (Йоко-Довыренский, Авкитский, Чинейский массивы) и островодужной (чая-нюрнудуканская серия мафит-ультрамафитовых массивов). Рифтогенез развивался в постаккреционных условиях и был приурочен к окраинно-континентальным бассейнам [13].

Сульфидное медно-никелевое оруденение установлено в большинстве базит-гипербазитовых ин-

трузивов провинции. Наиболее перспективны в настоящее время Чайский и Йоко-Довыренский.

Чайский дунит-перидотит-габброноритовый массив размером 1,5 × 5 км расположен в 90 км северо-восточнее северной оконечности оз. Байкал. Центральную часть массива составляют серпентинизированные дуниты, окруженные по периферии плагиоперидотитами. В восточной части наблюдается переслаивание габброноритов и троктолитов с перидотитами (рис. 4). Абсолютный возраст массива оценивается Sm-Nd и U-Pb методами в 627 ± 25 млн лет [30].

Сульфидная Cu-Ni минерализация сосредоточена в осевой, приядерной части ультрамафитового плутона. Она прослеживается в субширотном направлении на 900–950 м при средней ширине 100 м. Мощность рудных тел первые метры, реже до 15–29 м при длине от 100–200 до 400 м. Руды – рассеянно-вкрапленные, густовкрапленные, массивные, брекчиевидные и рудные blastomylonites. Основные рудные минералы – пирротин, пентландит и халькопирит с примесью магнетита, ильменита, маккинавита, виоларита, сфалерита, кобальтина, валлериита и кубанита. Содержания никеля от 0,45–1,28% в бедно- и богатовкрапленных до 5,58–6,10% в массивных рудах и рудных blastomylonites. Содержание меди значительно ниже, от 0,14–0,38 во вкрапленных рудах до 1,7% в массивных. Отношение Ni/Cu 3,2–3,4 во вкрапленных и массивных рудах. Оно резко повышается до 9,0 в рудных blastomylonites.

Запасы Ni 260, Cu 86, Co 10,7 тыс. т при средних содержаниях 0,55, 0,18 и 0,023%. Прогнозные ресурсы никеля оценены в 800, меди в 270, кобальта в 33 тыс. т [11].

Второй по перспективности – Йоко-Довыренский никеленосный массив (Байкальское медно-никелевое месторождение). Он расположен в Северном Забайкалье, в пределах внешнего пояса байкалид, обрамляющих с юга Северо-Азиатский кратон. Рудовмещающей структурой служит Сынныртский рифт, сложенный карбонатно-сланцево-

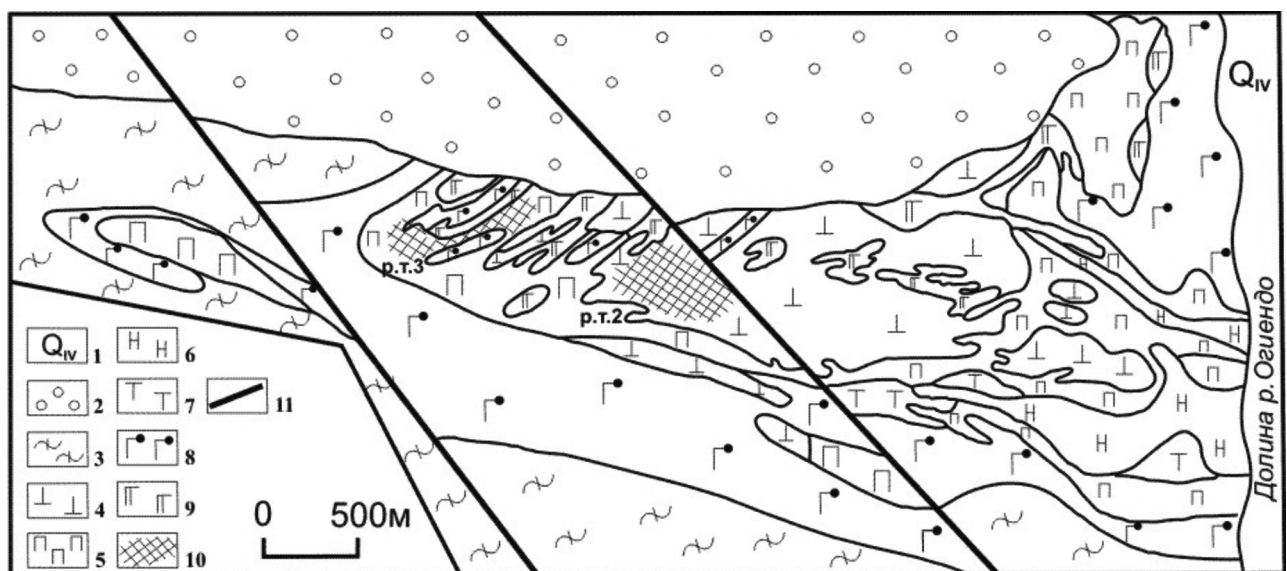


Рис. 4. Чайский никеленосный массив [11]

1 – аллювиальные отложения; 2 – конгломераты холоднинской свиты; 3 – амфиболиты, кристаллические сланцы, 4–9 – породы массива: 4 – дуниты, 5 – плагиоперидотиты, 6 – оливиновые габбронориты, 7 – троктолиты, 8 – пироксениты, 9 – габбронориты; 10 – сульфидные медно-никелевые руды; 11 – разломы. Рудные тела р.т. 2 и р.т. 3

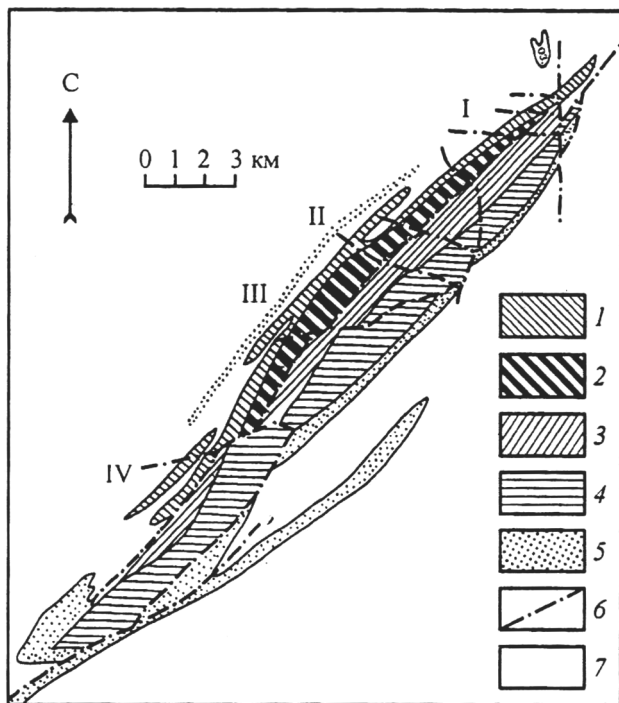


Рис. 5. Строение Йоко-Довыренского рудоносного массива [13]

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

кварцитовыми осадочными образованиями довыренской серии, перекрытыми вулканитами инятукской (пикритовые базальты) и сыннырской (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). Один из них – Йоко-Довыренский расчлененный дунит-троктолит-габбровый массив площадью около 80 км² (рис. 5). Возраст его оценивается в 739 ± 55 млн лет [14]. В разрезе массива отчетливо выделяются три части: нижняя плагиоперидотитовая, средняя дунит-троктолитовая и верхняя, состоящая из оливкового габбро и оливкового габбронорита [13].

Плагиолерцолитовый приподошвенный горизонт содержит сингенетичное сульфидное медно-никелевое оруденение вкрапленного типа, а протектонические 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 15–50 × 0,2–1,5 м. Одна из жил мощностью 1 м тянется на 650 м. В составе рудных минералов преобладают пирротин, пентландит и халькопирит. Вкрапленные руды бедные и содержат в среднем 0,5% никеля и 0,3% меди. Содержание никеля в массивных рудах достигает 2,1, меди 0,64%, а Ni/Cu отношение от 1,7 во вкрапленных рудах до 3,3 в массивных. Сульфидные руды содержат примесь палладия до 2,2, платины до 0,5 и золота до 0,32 г/т.

Кроме того, в пределах провинции располагается ряд слабоизученных никеленосных базит-ультрабазитовых интрузивов (Безыманный, Гасан-Дякитский, Холоднинский и др.), поэтому общие перспективы никеленосности Северо-Байкальской провинции, на наш взгляд, достаточно велики.

Становая провинция тянется вдоль юго-восточной окраины Северо-Азиатского кратона на 1300 км при ширине около 250–300 км [28]. Никеленосной провинции отвечает восточная часть Станового мегаблока, ограниченная с севера Становым, а с юга Монголо-Охотским глубинными разломами. Мегаблок представляет собой обрамление Алданского протомассива – гранит-зеленокаменную область, подвергнутую тектоно-магматической активизации в мезозойское время. Выделяется ряд блоков, сложенных метаморфитами раннеархейского (зверевско-чогарский и зейский комплексы) и позднеархейского (становой и гилуийский комплексы) возрастов.

Раннеархейские гранулитовые комплексы сложены биотит- и гранат-гиперстенowymi, биотит-гранатовыми гнейсами, а также двупироксеновыми кристаллическими сланцами и кварцитами. Позднеархейские комплексы расчленены на ряд серий (купуринская, усть-гилуийская, иликанская), сложенных биотитовыми, биотит-роговообманковыми, роговообманковыми, а также двуслюдяными, гранат- и силлиманитсодержащими гнейсами и амфиболитами с прослоями мраморов, кальцифиров, железистых и слюдястых кварцитов. Внутрикратонные прогибы выполнены образованиями раннепротерозойского желтулакского комплекса, сложенного филлитовидными, биотитовыми и двуслюдяными сланцами, кварцитами, метаконгломератами и метаэффузивами [1]. С нижнеархейским гранулитовым комплексом тесно связаны тела метаморфизованных основных и ультраосновных пород (майско-джанинский комплекс), а также чарнокитов, эндербитов и гранитов. Интрузии, пространственно сопряженные с верхнеархейским становым комплексом, представлены доскладчатыми габбро-амфиболитами, метапироксенитами, древнеджугджурскими и олекмо-каларскими анортозитами. С толщами раннего протерозоя ассоциируют сравнительно небольшие тела дифференцированных ультрабазитов и базитов лукиндинского и ильдеусского комплексов [2]. Кроме того, на восточном фланге провинции выделен кун-маньенский габбро-норит-пироксенит-перидотитовый комплекс малых интрузий, даек и силлов [5]. Тектоно-магматическая активизация в мезозойское время привела к формированию крупных гранитоидных интрузий тындинско-бакаранского комплекса позднеюрско-раннемелового возраста, а также наземных вулканитов раннего мела. В последние годы выделен раннемеловой джалтинский комплекс малых интрузий, даек и силлов кортландит-пироксенит-габбрового состава [26, 27].

Медно-никелевое оруденение принадлежит к сульфидной платиноидно-медно-никелевой формации. Оно генетически связано с разновозрастными базит-гипербазитовыми комплексами: позднеархейским анортозитовым и габбро-анортозитовым, раннепротерозойскими кун-маньенским габбро-норит-пироксенит-перидотитовым и дунит-троктолит-габбровым, а также джалтинским кортландит-пироксенит-габбровым раннего мела.

Никеленосные интрузии позднего архея. Анортозитовые и габбро-анортозитовые интрузии позднеархейского возраста слагают Джугджуро-Становой пояс, на 1300 км протянувшийся вдоль северной границы никеленосной провинции [17]. Наибольший интерес представляет никеленосность Каларского, Геранского и Лантарского массивов. Сульфидная медно-никелевая минерализация имеет самостоятельное значение (Лантарский массив), но чаще встречается в виде попутного компонента в ильменит-магнетитовых месторождениях (Каларский и Геранский массивы).

В Лантарском габброанортозитовом массиве в истоках рек Батомга, Няндомы и Одора (восточный фланг провинции) геологоразведочными работами подтверждено широкое развитие медно-никелевого оруденения [23]. Оно приурочено к горизонтал габбро и габброанортозитов с прослоями пегматоидных разностей в нижней части массива. Обнаружено до 10 интервалов с вкрапленной и прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией. Среди сульфидов преобладают пирротин, халькопирит, пентландит и пирит. Содержание никеля до 0,97, меди 1,97%. На участке Няндомы того же массива старательской артелью Восток выявлено вкрапленное медно-никелевое оруденение с линзами массивных руд. Состав сульфидов: пирротин, халькопирит и пентландит, а также пирит и минералы элементов платиновой группы – мончеит, сперрилит и платино-палладиевый теллурид. Содержание полезных компонентов, по данным бороздового опробования: медь до 3,4, никель до 0,74, кобальт до 0,17%, платина 0,1–2,1, палладий 0,2–5,8 г/т. Предполагается наличие на участке крупного медно-никелевого объекта.

В Каларском габбро-анортозитовом массиве, расположенном на западном фланге провинции, известны месторождения и участки с титано-магнетитовым оруденением. Изотопный возраст массива оценивается в 2,62 млрд лет [16]. Сульфидная медно-никелевая минерализация носит наложенный характер. Содержания никеля и меди обычно не превышают 0,6%. Перспективны на выявление медно-никелевого оруденения участки Джелу в Куранаской ветви массива и Баюкит в его Имангакитской ветви. На участке Джелу в бороздовых пробах содержания никеля достигают 0,6, меди 0,8%. На участке Баюкит расположены небольшие тела серпентинизированных перидотитов, которые содержат залежи сплошных и вкрапленных ильменит-магнетитовых руд с сульфидной минерализацией. По данным штучного опробования, содержание никеля достигает 0,1–0,8, бороздового 0,25%. Прогнозные ресурсы никеля оцениваются на уровне среднего по масштабу месторождения (А. И. Лобов и др., 1996).

В Геранском массиве преобладают адезиниты, оливиновые габброиды, анортозиты и габбро-анортозиты [21]. С массивом генетически связаны многочисленные проявления редкоземельных, ильменит-титаномагнетитовых и медно-никелевых руд. Медно-никелевая минерализация представлена рассеянной вкрапленностью пирротина, пентландита, халькопирита и пирита в основании расслоенного комплекса габброидов. Линзовидные зоны медно-никелевой сульфидной минерализации приурочены к габброноритам и их меланократовым разностям. На титано-магнетитовом месторождении Богиде, расположеном в пределах массива,

в рудном горизонте обнаружена линза сплошных пирротин-пентландитовых руд.

Никеленосность раннепротерозойских интрузий. Раннепротерозойский возраст имеют два никеленосных комплекса: кун-маньенский габбро-норит-пироксенит-перидотитовый и дунит-троктолит-габбровый.

В юго-западной краевой части Кун-Маньенского раннеархейского габбро-анортозитового массива и вмещающих его кристаллических сланцах и плагиогнейсах джанинской серии выявлено несколько ареалов интрузий мафит-ультрамафитового состава с медно-никелевым сульфидным оруденением (месторождение Кун-Манье, рудопроявления Малый Курумкан и др.). Никеленосные интрузии отнесены к кун-маньенскому комплексу, сложенному вебстеритами, плагиовербстеритами, лерцолитами, габсбургитами, верлитами, горнблендитами, клино- и ортопироксенитами, серпентинитами, серпентин-тальковыми, амфибол-серпентин-тальковыми, актинолит-серпентиновыми породами и рудными брекчиями. Доминируют роговообманковые, оливиновые и плагиоклазовые вебстериты. Возраст этих пород по изотопно-геохронологическим данным, полученным в ЦИИ ВСЕГЕИ Sm-Nd и U-Pb методами, 1812 ± 66 и 1700 ± 12 млн лет, т. е. раннепротерозойский [5].

Курумканское рудное поле, в пределах которого располагается месторождение Кун-Манье (рис. 6), – линейно вытянутый в северо-западном направлении ареал рудоносных тел мафит-ультрамафитов кун-маньенского комплекса. Ширина роя 1–2, протяженность около 14 км. Мафит-ультрамафиты слагают полого наклоненные на север-северо-восток силлы, пластообразные и линзовидные тела мощностью до 80–90 и протяженностью по простиранию до 3000 м.

Руды оконтурены в виде пластообразных залежей, часто по форме повторяя контуры никеленосных интрузий. Преобладают рядовые вкрапленные руды. Богатые густовкрапленные разновидности – висячем и лежащем боках интрузий, брекчиевые и массивные руды – на контакте с вмещающими породами. Основные рудные минералы – пирротин 60–80, пентландит 10–25, халькопирит 10–20, пирит 0–10%, в меньших количествах встречается магнетит, ильменит, борнит, халькозин, бравоит, виоларит, никелин. Преобладают вкрапленные руды с содержанием никеля от 0,46 до 0,9%. В прожилково-вкрапленных рудах содержание никеля возрастает до 1,54, в брекчиевых до 5,48, а в сплошных превышает 8,8% [5]. На месторождении Кун-Манье средние содержания никеля 0,63, меди 0,18, кобальта 0,007 вес.%, Ni/Cu 3,5. Примесь платины около 0,11 и палладия 0,12 г/т.

Интрузии дунит-троктолит-габбрового состава sporadически развиты в пределах провинции. Они небольших размеров (от десятков до первых сотен квадратных километров) и сложены грубослоистыми дунитами, троктолитами, оливиновыми габбро, анортозитами, пироксенитами, габброноритами и габбро. Возраст интрузий принимается раннепротерозойским [2]. Наиболее известна никеленосность массивов Ильдеус и Луча.

Ильдеусский массив в междуречье Бранты и Ильдеуса представляет собой пластообразную залежь, погружающуюся на юго-запад под углами 45–60°. Площадь его около 60 км². В составе массива преобладают плагиоклазовые дуниты, трокто-

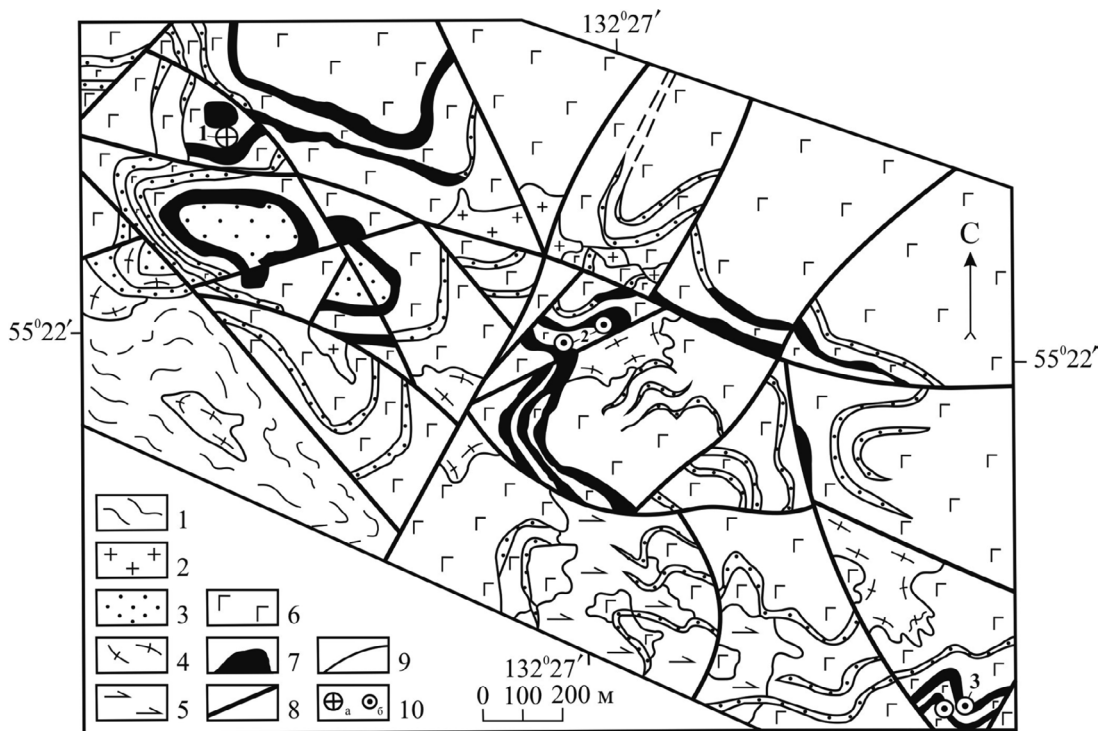


Рис. 6. Геологическая позиция месторождения Кун-Манье [5]

1 – пироксеновые плагиогнейсы и кристаллосланцы; 2 – меловые гранитоиды; 3 – раннепротерозойские мафит-ультрамафиты кун-маньенского комплекса; 4 – архейские гранито-гнейсы марагайского комплекса; 5 – анортозиты; 6 – метагабброиды Кун-Маньенского массива; 7 – тела мафит-ультрамафитов с сульфидным медно-никелевым оруденением; 8 – разломы; 9 – геологические границы; 10 – месторождения (а – 1 – Кун-Манье) и рудопроявления (б – 2 – Икэн, 3 – Кубук)

литы и оливковые габбро. Вмещающие породы – поздnearхейские гнейсы и кристаллические сланцы амфиболитовой фации метаморфизма, а также архейские габбро-анортозиты. Массив интенсивно серпентинизирован и окружен оторочкой из тремолит-хлорит-плагиоклазовых пород [29]. Рассеянная сульфидная медно-никелевая минерализация широко распространена как в серпентинизированных гипербазитах, так и в дайках плагиоперидотит-пироксенит-габброноритового состава. Сульфиды (2–3%) представлены пирротином, халькопиритом и пентландитом в виде тонкой неравномерной вкрапленности. Содержание никеля в штучных пробах до 0,3%. В дайках концентрация сульфидов возрастает до 5% при содержании никеля до 0,4% (М. Ю. Носырев и др., 2000).

Лучанский массив, расположенный в верховьях р. Луча, сложен троктолитами и оливковыми габбро с пластообразными обособлениями меланократовых троктолитов и плагиоклазовых дунитов. В плане интрузив представляет собой слабовытянутый овал размером 21 × 12 км. Жильная серия сложена габбродиабазами, пегматоидными габбро, пироксенитами и перидотитами. Сульфидная медно-никелевая минерализация образует как сингенетичную вкрапленность в меланократовых разновидностях пород массива, так и эпигенетичные прожилково-гнездовые выделения в дайковых габброноритах и пегматоидных габбро. Среди сульфидов преобладают пирротин, халькопирит и пентландит, отмечаются кубанит, валлериит, бравоит и виоларит. Содержание никеля в отдельных штучных пробах до 0,4% (М. Ю. Носырев и др., 2001).

В северо-западной части Лучанского массива расположено Зейское (Лучанское) медно-никелевое месторождение. Оно приурочено к апикальной части массива, сложенного оливковыми габброноритами с прослоями кортландитов и вебстеритов. Здесь выявлено семь сульфидоносных зон протяженностью до 1 км при мощности 75–150 м. Оруденение представлено вкрапленностью и прожилками пирротина, пентландита и халькопирита с примесью более поздних выделений виоларита и пирита. Оруденение имеет эпигенетичный характер и приурочено к зонам трещиноватости северо-восточного простирания. Содержания никеля в штучных пробах до 0,5, меди 0,4, кобальта 0,1%. Прогнозные ресурсы месторождения оцениваются как крупные [10].

Никеленосность раннемеловых интрузий. Ассоциация медно-никелевого оруденения с малыми интрузиями, дайками и силлами джалтинского кортландит-пироксенит-габбрового комплекса раннемелового возраста установлена в бассейне рек Джалта и Ульдегит в пределах Дамбукинского района [25–27], сложенного раннеархейскими метаморфическими образованиями дамбукинской серии. В ее составе преобладают гнейсы, нередко графитсодержащие, а также кристаллосланцы с прослоями и линзами амфиболитов, железистых кварцитов и кальцифиров. Широко развиты небольшие по размерам интрузии (до 5 км²), дайки и силлы, сложенные кортландитами, горнблендитами, роговообманковыми пироксенитами и габброноритами джалтинского комплекса. Протяженность даек и силлов до 1–2 км при мощности от десятков до первых сотен метров.

Роговообманковые базиты постоянно содержат сингенетичную вкрапленность сульфидов – пирротина, халькопирита и пентландита до 5%. Нередко концентрация сульфидов увеличивается до 20%, образуя эпигенетичные прожилковые, брекчиевые и массивные руды. В сингенетичных вкрапленных рудах содержания никеля редко превышают 0,3, а в эпигенетичных достигают 3–6% (рудопроявления Никелевое и Стрелка).

Для определения возраста пород джалтинского комплекса произведено изотопное датирование U-Pb методом по цирконам на микрозонде SHRIMP II в центре изотопных исследований ВСЕГЕИ им. А. П. Карпинского. Цирконы из кортландитов представлены прозрачными и полупрозрачными кристаллами желтоватого цвета, субидiomорфными и идиоморфными. Облик зерен коротко- и длиннопризматический. Катодолюминесцентное изображение цирконов демонстрирует концентрическую и секториальную зональность роста, которые свидетельствуют о магматическом их происхождении. В результате изотопного датирования установлен абсолютный возраст кортландитов $121,2 \pm 1,8$ млн лет [27].

Рудопроявление Стрелка расположено в верховьях р. Ульдегит. Оно представлено дайками роговообманковых пироксенитов и горнблендитов с сульфидной медно-никелевой минерализацией. Мощность даек достигает 40 м, они прослежены по простираю канавами на 1000 м и скважинами колонкового бурения на глубину 200 м. Сульфиды образуют в дайках рассеянную вкрапленность, а также прожилки и жилы массивных медно-никелевых руд, иногда выходящие за пределы даек во вмещающие графитсодержащие гнейсы. Состав сульфидов постоянный – пирротин 90–95, халькопирит до 5, пентландит до 1–2%, пирит. Реже встречаются сфалерит, арсенопирит, галенит, молибденит и самородное золото. Содержание никеля, по данным штудного опробования керны скважин, до 1, меди 6%. По сульфидным рудам развита кора выветривания каолинового типа с лимонитом и графитом до глубины 100 м (В. М. Тихонов и др., 1966).

Рудопроявление Никелевое расположено в бассейне руч. Горацевский. Здесь выявлены обломки массивных сульфидных медно-никелевых руд. По содержанию полезных компонентов их можно разделить на два типа: никелевые мелкокристаллические и медно-никелевые крупнокристаллические. Первые из них содержат, по данным химического анализа, 4,08–6,55% никеля и 0,25–0,28% меди, а вторые 2,95–3,02% никеля и 0,94–2,88% меди. Атомно-абсорбционным анализом в рудах установлены примеси благородных металлов (в г/т): Au 0,23–0,41, Ag до 6, Pt 1,38–8,29, Pd 2,25–4,52, Rh 0,2–2,9. Руды состоят главным образом из пирротина 75–90, пентландита 5–10 и халькопирита 1–10%. Кроме того, в них обнаружены магнетит, пирит, виоларит, куприт, ковеллин и котульскит.

Интерпретация геохимических данных получена при проведении литохимической съемки масштаба 1 : 200 000 на территории Дамбукинского никеленосного района. Прогноз продуктивных рудогенных систем сидерофильной специализации выполнен по методике С. В. Соколова [24]. Установлено, что Дамбукинскому никеленосному району отвечает Гилойская геохимическая зона площадью около 1300 км². Она имеет линейно вытянутую форму, прослеживается в запад-северо-за-

падном направлении на 160 км при ширине от 5 до 10 км. В пределах Гилойской зоны выделены Золотогорский и Нижнегилойский потенциально медно-никеленосные геохимические узлы, а в них семь АГП типов рудного поля. Они разделены на три группы: медно-никелевые (Амурское, Степанакское, Горелое, Горацевское), никелевые с сопутными медью и кобальтом (Золотогорское) и существенно никелевые (Минжакское, Окаканское). Общие прогнозные ресурсы никеля Гилойской зоны оцениваются в 507, меди в 74 тыс. т.

Оруденение Становой провинции представлено сульфидной платиноидно-медно-никелевой формацией. Наиболее перспективны на выявление сульфидных медно-никелевых месторождений раннепротерозойский габбро-норит-пироксенит-перидотитовый кун-маньенский и раннемеловой кортландит-пироксенит-габбровый джалтинский интрузивные комплексы. Прогнозные ресурсы провинции оцениваются нами в 2 млн т никеля и 300 тыс. т меди.

Заключение. В обрамлении Северо-Азиатского кратона закономерно располагаются четыре платиноидно-медно-никелевые провинции: Таймыро-Норильская, Восточно-Саянская, Северо-Байкальская и Становая. Сульфидные медно-никелевые месторождения генетически связаны как с интрузиями, так и с вулканитами основного-ультраосновного состава. Согласно классификации А. П. Лихачева [17], их можно отнести к следующим формациям: габбро-норит-пикрит-долеритовой умеренно магнезиальных магм (месторождения Норильск и Талнах Таймыро-Норильской провинции), габбро-норит-пироксенит-перидотитовой магнезиальных магм (месторождения Чайское, Йоко-Довыренское), пироксенит-перидотитовой высокомагнезиальных магм (месторождения Кингаш и Верхнекингашское Восточно-Саянской провинции), а также к формации регенерированных месторождений (месторождение Кун-Мань Становой провинции).

Наблюдается многоэтапность формирования платиноидно-медно-никелевого оруденения от раннего протерозоя (месторождение Кун-Манье) до триаса (Норильск, Талнах) и раннего мела (рудопроявления Дамбукинского района). В Становой провинции этот возрастной интервал может быть существенно увеличен.

В массивных рудах ряда месторождений содержание железа достигает 55, никеля 4–5%. Это сближает их по составу с железистыми метеоритами и веществом ядра Земли, содержащими, как известно, в среднем железа 91, никеля 8,5 и кобальта 0,6%. Это вряд ли случайно и может свидетельствовать об участии в формировании платиноидно-медно-никелевых месторождений окраин Северо-Азиатского кратона не только мантийного, но и ядерного вещества планеты. На возможное участие в нем суперплюмов, зарождающихся на границе ядро-мантия, указывают М. И. Кузьмин и В. В. Ярмолюк [15].

Ресурсный потенциал наиболее изученной Таймыро-Норильской провинции и расположенного в ней Норильского рудного района оценивается в десятки тысяч тонн никеля и меди. Ресурсы других трех провинций гораздо скромнее. Тем не менее они представляют несомненный интерес для дальнейшего изучения.

1. Геодинамика, магматизм и металлогения востока России: в 2-х кн. / Под ред. А.И. Ханчука. – Владивосток: Дальнаука, 2006. – Кн. 1, 572 с.
2. Геологическая карта Приамурья и сопредельных территорий. Масштаб 1 : 2 500 000. Объясн. зап. – Санкт-Петербург – Благовещенск – Харбин: ВСЕГЕИ – АГК, 1999. – 139 с.
3. Геология и перспективы Pt-Cu-Ni оруденения восточной части Алтае-Саянской складчатой области / Под ред. С.С. Сердюка. – Красноярск: Город, 2010. – 184 с.
4. Гертнер И.Ф., Глазунов О.М., Морикио Т. и др. Изотопно-геохимические ограничения модели формирования Кингашского ультрамафит-мафитового массива (Восточный Саян) // Петрология магматических и метаморфических комплексов: Материалы Всерос. науч. конф. – Томск: Томский ун-т, 2005. – Т. 1. С. 61–72.
5. Гурьянов В.А., Приходько В.С., Пересторонин А.Н. и др. Новый тип медно-никелевых месторождений юго-востока Алдано-Станового щита // ДАН. 2009. Т. 425. № 4. – С. 505–508.
6. Додин Д.А. Минерагения Арктики // Литосфера. 2009. № 5. – С. 15–35.
7. Додин Д.А., Тарновецкий Л.Л. Геодинамическая модель сульфидно-медно-никеленозных рудно-магматических систем Таймыро-Норильской провинции // Геология и геофизика. 1992. № 12. – С. 40–51.
8. Додин Д.А., Чернышов Н.М., Яцкевич Б.А. Платинометалльные месторождения России. – СПб.: Наука, 2000. – 755 с.
9. Еханян А.Е., Колчин А.В., Пантелеев А.В. и др. Минерально-сырьевые ресурсы Красноярского края // Разведка и охрана недр. 2004. № 6. – С. 2–23.
10. Зимин С.С., Моисеенко В.Г., Октябрьский Р.А. и др. Перспективы открытия новых медно-никелевых месторождений на востоке России // Вестник ДВО РАН. 1993. № 4–5. – С. 98–103.
11. Кислов Е.В., Орсов Д.А., Малышев А.В. Северо-Байкальская никеленозная провинция, Республика Бурятия // Руды и металлы. 2007. № 6. – С. 6–15.
12. Князев В.Н. Геология и условия образования благороднометалльного и медно-никелевого оруденения Канского зеленокаменного пояса: Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. – Красноярск: КНИИГиМС, 2004. – 24 с.
13. Конников Э.Г., Орсов Д.А., Кислов Е.В. и др. Платиноносность расслоенных интрузивов и черносланцевых толщ докембрия Забайкалья // Платина России. Т. 2, кн. 2. – М.: Геоинформмарк, 1995. – С. 139–149.
14. Конников Э.Г., Кислов Е.В. Тренды эволюции состава никеленозных комплексов и эпохи сульфидного Cu-Ni-платинометалльного рудообразования в докембрии // ДАН. 2000. Т. 374. № 4. – С. 517–519.
15. Кузьмин М.И., Ярмолюк В.В. Внутриплитный магматизм и связанная с ним металлогения // Материалы Всерос. совещ. – Иркутск: ИГ СО РАН, 2012. Т. 1. – С. 66–69.
16. Ларин А.М., Котов А.Б., Сальникова Е.Б. и др. Карларский комплекс (Алдано-Становой щит) – древнейший представитель анортозит-мангерит-чарнокит-гранитной магматической ассоциации: результаты геохронологических, геохимических и изотопно-геохимических исследований // Петрология. 2006. Т. 14. № 1. – С. 1–20.
17. Ленников А.М. Анортозиты юга Алданского щита и его складчатого обрамления. – М.: Наука, 1979. – 164 с.
18. Лихачев А.П. Платино-медно-никелевые и платиновые месторождения. – М.: Эслан, 2006. – 496 с.
19. Маракушев А.А., Панях Н.А., Зотов И.А. Проблемы формирования медно-никелевых сульфидных месторождений // Руды и металлы. 2002. № 2. – С. 23–33.
20. Нальдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. – СПб.: СПбГУ, 2003. – 487 с.
21. Панских Е.А. Геология и минерагения автономных анортозитовых ассоциаций Восточно-Азиатского пояса // Геология и минерагения анортозитовых ассоциаций. – Владивосток: ДВИМС, 1987. – С. 41–59.
22. Парфенов Л.М., Кузьмин М.И. (отв. ред.). Тектоника, геодинамика и металлогения территории Республики Саха (Якутия). – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 571 с.
23. Ситников Н.В., Приходько В.С. Сульфидное оруденение Лантарского габбро-анортозитового массива (Дальний Восток) // Геология, генезис и вопросы освоения комплексных месторождений благородных металлов. – М.: ИГЕМ, 2002. – С. 227–228.
24. Соколов С.В. Структуры аномальных геохимических полей и прогноз оруденения. – СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 1998. – 154 с.
25. Степанов В.А., Мельников А.В., Палажченко В.И. и др. Коренные источники платинометалльных россыпей провинции Дамбукинского района Верхнеамурской провинции // Тихоокеанская геология. 2002. Т. 24. № 4. – С. 69–78.
26. Степанов В.А., Октябрьский Р.А., Гвоздев В.И. Малые интрузии гипербазитов и медно-никелевое оруденение // ДАН. 2006. Т. 409. № 4. – С. 514–517.
27. Стриха В.Е., Степанов В.А., Родионов Н.И. Раннемеловая кортландит-пироксенит-габбровая ассоциация Верхнего Приамурья: геохронологические и геохимические данные // Докл. РАН. 2006. Т. 407. № 5. – С. 664–668.
28. Степанов В.А., Мельников А.В., Стриха В.Е. Становая никеленозная провинция // Вестн. СВНЦ. 2008. № 2. – С. 13–21.
29. Шека С.А., Вржосек А.А. Платиноносность базит-гипербазитовых комплексов Дальнего Востока России // Платина России. Т. 3. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. – С. 66–75.
30. Amelin Y.V., Risk E.Y., Neymark L.A. Effects of interactions between ultramafic tectonite and mafic magma on Nd-Pb-Sr isotopic systems in Neoproterozoic Chaya Massif, Baikal-Muya ophiolite belt // Earth and Planet. Sci. Lett. 1997. Vol. 148. N 1. – P. 299–316.

Степанов Виталий Алексеевич – доктор геол.-минер. наук, профессор, гл. науч. сотрудник, НИГТЦ ДВО РАН.
<vitstepanov@yandex.ru>.