

УДК 552.321.6:553.481

© А.С.Мехоношин, Т.Б.Колотилина, 2006

## ПЕТРОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ УЛЬТРА-БАЗИТОВ ЮЖНОГО ОБРАМЛЕНИЯ СИБИРСКОГО КРАТОНА И КРИТЕРИИ ПОИСКОВ СУЛЬФИДНО-НИКЕЛЕВЫХ РУД

А.С.Мехоношин, Т.Б.Колотилина (Институт геохимии СО РАН)

Методики оценки никеленосности различных комплексов магматических пород неоднократно рассматривались многочисленными исследователями. Однако в каждом конкретном районе и типе месторождений существуют свои закономерности, используя которые можно выбрать характерные черты, позволяющие разбраковывать рудоносные и нерудоносные объекты.

В структурах южного обрамления Сибирского кратона, в пределах Бирюсинского, Канского и Шарыжалгайского тектонических блоков, встречаются многочисленные тела ультрабазитов. Они отличаются разнообразием форм, петрографического и химического составов, и лишь некоторые массивы вмещают вкрапленное сульфидно-никелевое оруденение, часто сопровождаемое повышенными концентрациями платиноидов [2–4, 6]. В результате их комплексного изучения установлен ряд признаков, позволяющих различать рудоносные и нерудоносные объекты, и предложены критерии поисков сульфидно-никелевых руд в этом регионе.

Породы массивов и вмещающего вулканогенно-осадочного комплекса были вовлечены в складчатость и претерпели метаморфические преобразования. Ультрабазиты образовали линзо- и дугообразные тела с видимой мощностью от 20 до 700 м и протяженностью от 0,1 до 7 км, часто смятые в сложные складки и разбитые сериями разломов, а также изометричные блоки и будины. Контакты тел ультрабазитов со всеми типами вмещающих пород — тектонические. Их положение в разрезе не закономерное. Они встречаются между пластами карбонатных пород, амфиболитов и гнейсов, что говорит об их автономности и отсутствии генетической связи с каким-либо типом пород. Наиболее крупные блоки обычно приурочены к полям распространения мраморов, что, скорее всего, связано с реологическими свойствами карбонатных пород, которые в процессе пликативных деформаций препятствуют разрушению тел ультрабазитов. Геологическое положение и форма массивов не позволяют разделять их на рудоносные и безрудные.

По петрографическому составу выделяются массивы двух групп: дунитов и гарцбургитов, лерцолитов и оливиновых вебстеритов. Несмотря на то что эти породы подверглись региональному метаморфизму, в них сохранились реликтовые парагенезисы, позволяющие реконструировать первичный состав и природу породы.

Дуниты и гарцбургиты имеют гранобластовую структуру, характеризуются наличием высокомагнетизальных оливинов ( $Fa_{8-10}$ ), ортопироксенов и высокохромистых хромшпинелидов. Чаще всего породы серпентинизированы.

Тела ультрабазитов, дифференцированные от лерцолитов до оливиновых вебстеритов, сохранили реликты кумулятивных и пойкилитовых структур. Породы амфиболитизированы и иногда подвержены низкотемпературным изменениям — серпентинизации, хлоритизации и бруситизации. Амфиболитизация носит явно наложенный характер, роговой обманкой замещаются и оливины, и пироксены. Оливины ( $Fa_{12-24}$ ) в слабо измененных породах идиоморфные, размером до 1 мм, часто сохраняют свои кристаллографические очертания, иногда являясь пойкилитовыми вростками в ромбических, реже моноклинных пироксенах. В сильно измененных породах оливины деформированы, разбиты многочисленными трещинами и являются порфирокластами в амфиболовой массе. Ромбические пироксены ( $Fs_{13-19}$ ) — более поздние по отношению к оливинам и более ранние по отношению к моноклинному пироксену, размер зерен достигает 2–3 мм. Хромшпинелиды (алюмохромиты) образуют самостоятельные идиоморфные зерна размером до 0,5 мм или каплеобразные включения внутри оливинов и пироксенов. Ильменит присутствует в виде самостоятельных зерен или в сростках с хромшпинелидом.

В каждом массиве этого типа в различном количестве присутствуют сульфиды. По составу и характеру распределения они явно магматические и не связаны с зонами вторичной переработки. Рудные тела не имеют четких границ. Видимая мощность рудных зон достигает 3 м, протяжен-

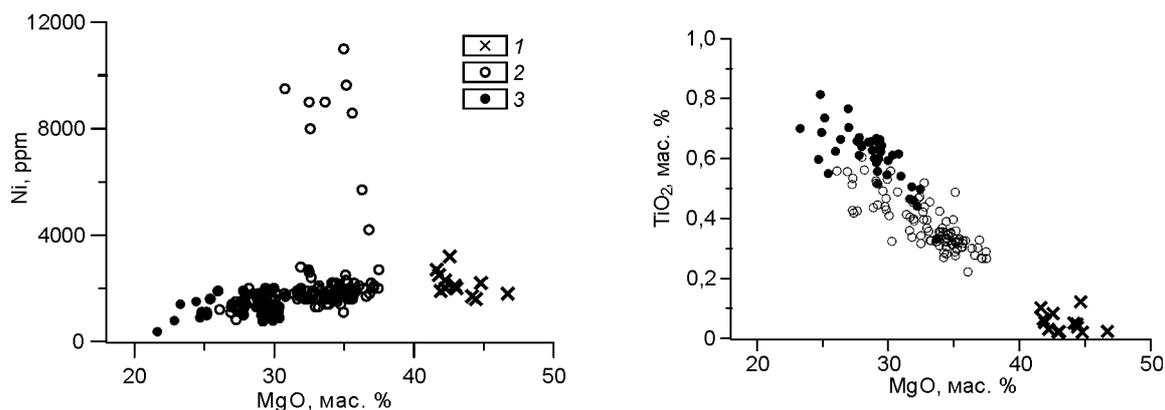


Рис. 1. Вариационные диаграммы состава ультрабазитов:

1 — высоко-, 2 — умеренно-(рудноносные), 3 — низкомагнезиальные ультрабазиты

ность — десятков метров. Сульфидные минералы образуют в основном редкую вкрапленность, на отдельных участках прослеживаются более густые скопления, и количество сульфидов в породе достигает 15%. Сульфиды обнаружены как в межзерновом пространстве силикатов, так и в виде каплеобразных выделений внутри их. Максимальные размеры каплеобразных сульфидных агрегатов 1 см. Наблюдаемые мелкие каплеобразные выделения сульфидов имеют постоянное соотношение пирротин/пентландит. Они находятся внутри ранее выделившихся хромшпинелидов, оливинов и пироксенов. Сульфиды в межзерновом пространстве ксеноморфны и при значительном скоплении образуют сидеронитовую структуру. В них пентландит преобладает над пирротинном, и оба минерала содержат максимальные количества никеля. В образцах с таким типом руд отмечаются максимальные содержания платиноидов. Халькопирит в рудах находится в подчиненном количестве по сравнению с пирротинном и пентландитом. В отдельных образцах обнаружены никелистые халькопириты (до 4% Ni). В халькопирит-пирротин-пентландитовой ассоциации преобладает пентландит.

По химическому составу ультрабазиты разделяются на три группы: высоко-, умеренно- и низкомагнезиальные. Составы пород массивов первой группы на всех петрохимических диаграммах располагаются дискретно по отношению к остальным (рис. 1) и соответствуют дунитам и гарцбургитам. Для них характерны минимальные концентрации Al, Ca, щелочей и некогерентных элементов, в том числе редкоземельных.

Породы двух других групп соответствуют лерцолитам и оливиновым вебстеритам. На петрохимических диаграммах фигуративные точки состава

этих пород образуют единый тренд, внутри которого породы отдельных массивов с некоторым перекрытием образуют поля со своим разбросом содержаний элементов от среднего, что позволило разделить их на две группы. Не обнаружено ни одного ультрабазитового массива, состав которого отвечал бы всему диапазону колебаний содержаний Mg и, соответственно, других зависимых от него элементов. Особенность умеренномагнезиальных ультрабазитов — достаточно высокие концентрации Sr, Ni и Co при отмечающихся содержаниях Mg. И только в них обнаруживаются сульфидно-никелевые руды.

Распределение Ni в ультрабазитах находится в прямой зависимости от содержания в породе Mg. С одной стороны, Ni концентрируется в оливине, в котором его содержания достигают 0,41%, с другой — его концентрации резко возрастают в породах, обогащенных сульфидами, вне зависимости от количества Mg (см. рис. 1). Но при этом высокие концентрации Ni в оливине наблюдаются и в сульфидизированных разностях (рис. 2). Этот факт говорит о том, что образование сульфидно-никелевых руд первично-магматическое и не связано с перераспределением никеля между минеральными фазами. Если в насыщенных серой жидкостях отсадки сульфидов не происходит, т.е. если сульфиды не покидают систему или имеется различный процент их оттока, то никелистость оливина увеличивается при повышении сульфидной взвеси в расплаве [1].

Содержания Sr, Zr и TR довольно высоки для ультраосновных пород. Кривые распределения редкоземельных элементов — без европиевых аномалий и слабо наклонены в сторону иттербия. Отношение содержания La в ультрамафитах к хондритовому не превышает 10, что четко согласуется с содержа-

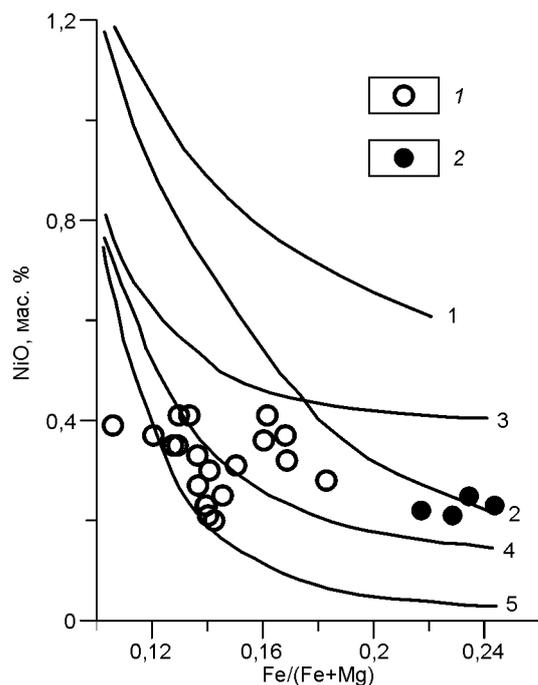


Рис. 2. Зависимость содержаний никеля от железистости оливинов:

1 — оливины умеренномагнезиальных (рудоносных), 2 — низкомагнезиальных ультрабазитов; линиями обозначены тренды, образующиеся при кристаллизации расплавов, по [1]: 1 — силикатный расплав, 2 — фракционирование оливина в силикатной системе, 3–5 сульфидно-силикатная система: 3 — без отсадки сульфида, 4 — с полной отсадкой сульфидной фазы, 5 — с 50%-ной отсадкой

нием Mg в породе. Отношения La/Sm (2,12–2,47) и Gd/Y (1,55–1,71) больше 1. По уровню содержаний редкоземельных элементов ультрабазиты всех трех групп также четко разделяются (рис. 3).

Умеренномагнезиальные ультрабазиты характеризуются повышенными содержаниями платиноидов. Нормированные по хондриту кривые распределения платиноидов в них полого наклонены в сторону тугоплавких элементов. Среди платиноидов преобладает Pd. Несмотря на отсутствие четкой зависимости между изменениями содержаний Pd и S, существует общая тенденция увеличения концентраций Pd с содержанием S в породе.

Хотя петрографическая зональность в телах ультрабазитов проявлена слабо, химическая — отмечается повсеместно. В разрезе каждого тела наблюдается накопление, с одной стороны, Mg, Cr и Ni, а с другой — Ti, Al и Ca, что свидетельствует о магматической дифференциации в процессе их становления. Эту закономерность можно использовать при восстановлении первичного залегания тел ультрабазитов, учитывая тот факт, что Mg, Cr и Ni

обогащают приподошвенные горизонты.

Анализируя особенности петрографического и геохимического составов ультрабазитов, можно сделать вывод о том, что высокомагнезиальные ультрабазиты-дуниты и гарцбургиты являются реликтами реститовых массивов, которые входили в состав офиолитовых комплексов, а умеренно- и низкомагнезиальные — типичные магматические образования — производные пикритовых магм. Образование таких массивов, возможно, начиналось с внедрения пикритовой магмы в вулканогенно-осадочную толщу на умеренных глубинах (рис. 4, а). Затем породы претерпели метаморфизм, пликвативные и дизъюнктивные преобразования, и в настоящее время они находятся во вторичном залегании (рис. 4, б-г). Восстановление их первичного залегания — одна из главнейших задач геологического исследования.

На основании полученных данных предлагаются следующие критерии поисков сульфидно-никелевых руд.

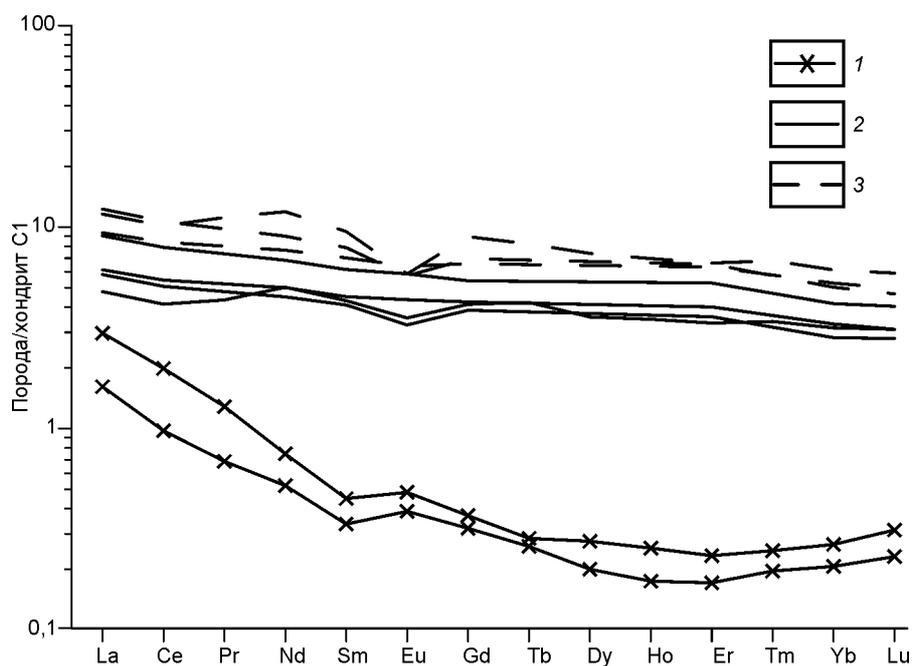
**Структурно-тектонический критерий.** Рудоносные ультрамафиты в пределах южного складчатого обрамления Сибирского кратона расположены только на площадях, сложенных метаморфизованными вулканогенно-осадочными толщами — мраморами, метапелитами и метабазальтоидами. К полям распространения мраморов приурочены наиболее крупные блоки, что определяется реологическими свойствами карбонатных пород. Первичное залегание ультрабазитовых тел восстанавливается с помощью петрохимических, минералогических и геохимических критериев.

**Магматический критерий.** Сульфидно-никелевые руды связаны только с дифференцированными телами умеренномагнезиальных ультрабазитов перидотит-пироксенитовой формации, производных пикритовых магм. Оруденение размещено в определенных горизонтах ультраосновной интрузии. Обычно это придонная залежь и подвешенный горизонт в верхних частях разреза.

**Минералогический критерий.** Соотношение содержаний никеля в оливинах и его железистости. Высокое соотношение пентландит/пирротин в сульфидных рудах. Тесное срастание хромшпинелида и ильменита в рудоносных телах.

**Петрохимический критерий.** Рудоносные ультрамафиты характеризуются колебаниями содержаний MgO 30–38%, TiO<sub>2</sub> 0,2–0,5%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4–6% и коэффициента железистости 0,22–0,3.

**Геохимический критерий.** Высокие значения отношений Ni/Co и Ni/Cu, преобладание содержания золота над серебром и палладия над платиной, пикритовый характер распределения спектра редко-



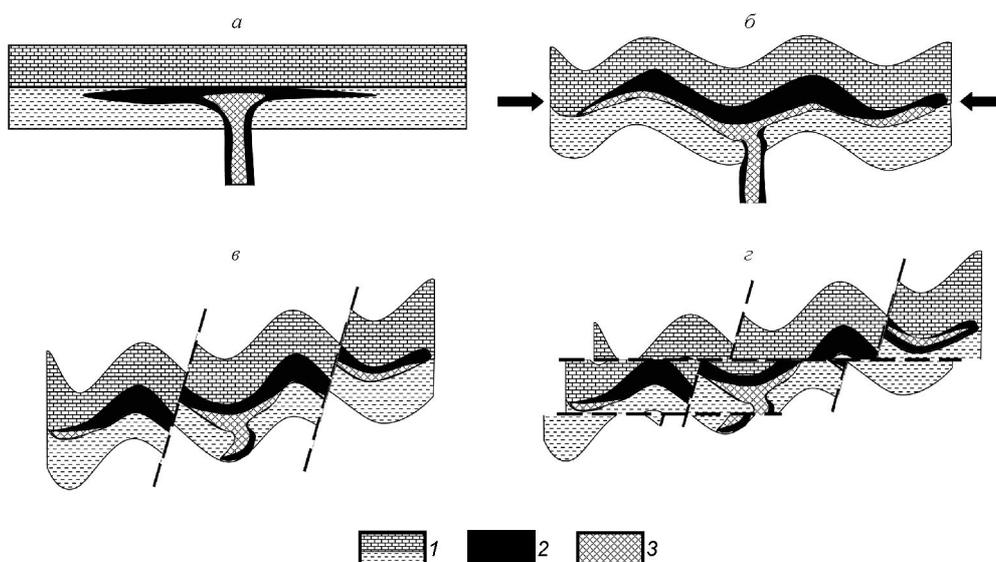
**Рис. 3. Распределение редкоземельных элементов в ультрабазитах:**

1 — высоко-, 2 — умеренно-(рудноносные), 3 — низкомагнезиальные ультрабазиты

земельных элементов, наименьшая сумма редкоземельных элементов при сохранении формы кривой.

Поиски аналогов сульфидного оруденения в ультрабазитах привели авторов к выводу, что наи-

более близким по структурному положению, составу, степени метаморфизма вмещающих пород, геологическому строению ультрабазитовых тел, их петрографическому и химическому составам явля-



**Рис. 4. Модель образования ультрабазитов:**

а-г — см. текст; 1 — вулканогенно-осадочная толща; 2 — ультраосновной расплав (породы); 3 — сульфидный расплав (руда)

ется одно из крупнейших сульфидных медно-никелевых месторождений в Северном Китае — Джинчуань, расположенное в складчатом обрамлении Сино-Корейского кратона [5, 7].

Используя наработанные на известных месторождениях поисковые критерии и детально изучив внутреннее строение ультрабазитовых массивов, восстанавливая их первичное залегание, можно целенаправленно проводить поисковые работы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арутюнян Л.А., Саргсян Г.О., Смолькин В.Ф. О никеленосности оливинов, кристаллизующихся в силикатных и сульфидно-силикатных системах // Никеленосность базит-гипербазитовых комплексов Украины, Урала, Сибири и Дальнего Востока. Апатиты, 1988. С. 78–81.
2. Глазунов О.М., Богнибов В.И., Еханин А.Г. Кингашское платиноидно-медно-никелевое месторождение. — Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2003.
3. Мехоношин А.С., Колотилина Т.Б. Платиноносные ультрамафиты Бирусинского выступа Сибирской платформы // Платина России. М., 1999. Т. III. Кн. 1. С. 97–106.
4. Мехоношин А.С., Цыпуков М.Ю., Прокочук С.И., Мельникова Р.Д. Оценка перспектив платиноносности Восточного Саяна // Платина России. М., 1995. Т. II. С. 125–132.
5. Налдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. — Санкт-Петербург: СПбГУ, 2003.
6. Платиноносность ультрабазит-базитовых комплексов юга Сибири / В.И.Богнибов, А.П.Кривенко, А.Э.Изох и др. — Новосибирск, 1995.
7. Chai G., Naldrett A. Characteristic of Ni-Cu-PGE mineralization and genesis of the Jinchuan deposit, Northwest China // Econ. Geol. 1992. Vol. 87. P. 1475–1495.