ГЕОХИМИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАТИНОВОЙ ГРУППЫ В БАЗАЛЬНОМ ПЛАТИНОМЕТАЛЬНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВОМ ОРУДЕНЕНИИ МАССИВА НЮД, МОНЧЕГОРСКИЙ КОМПЛЕКС

Припачкин П.В.¹, Грошев Н.Ю.¹, Кариковски Б.Т.², Майер В.Д.², Макдональд Я.², Барнс С.-Дж.³, Савард Д.³

¹ Геологический институт КНЦ РАН, Апатиты, paul@geoksc.apatity.ru

² Школа наук о Земле и Океане, Кардифф

³ Университет Квебека в Чикутими, Чикутими

Введение

Тонкая геохимия цветных и благородных металлов сегодня является эффективной методикой, позволяющей глубже понять и смоделировать генезис рудной минерализации расслоенных интрузий. Особенности поведения этих металлов в ходе магматических процессов и экспериментальные данные о том, какие минеральные фазы ответственны за их концентрацию, были детально рассмотрены [2] на примере российских Норильск-Талнахских медно-никелевых месторождений и платинометалльных рифов Меренского и UG-2 в комплексе Бушвельд (ЮАР). В настоящем исследовании нами впервые для Мончегорского расслоенного комплекса был применен подобный подход с целью моделирования условий образования так называемой донной (базальной) рудной залежи массива Нюд, вскрытой скважиной номер 1815 (рис. 1).

Рис. 1. Схематический геологический разрез массивов Нюд, Габбро 10-й аномалии и Верхний Нюд с расположением буровых скважин.

Материалы и методы исследований

После дробления и истирания в агатовой планетарной мельнице образцы по скважине 1815 были проанализированы на Cu, Ni, Au и шесть ЭПГ в университете Квебека в Чикутими (УКВЧ) методом ICP-MS после никель-серной пробирной плавки по аналитическому протоколу, изложенному в работе [7]. Сера анализировалась с использованием высокотемпературного горения с IR-спектрометрическим окончанием и титрованием серы на приборе Horiba 220V S-C в УКВЧ.

Результаты исследований и обсуждение

В разрезе скважины (рис. 2) пересечены среднезернистые и мелкозернистые меланориты, представляющие расслоенную серию и эндоконтакт массива Нюд соответственно. Ниже базально-го контакта, в кварцевых диоритах архейского фундамента развиты многочисленные жилы кварц-полевошпатовых пегматитов. Видимая сульфидная халькопирит-пентландит-пирротиновая вкрапленность отмечается в мелкозернистых меланоритах и ее объем увеличивается в направлении контакта. Кроме этого, архейские диориты также содержат вкрапленные сульфиды.

Рис. 2. Вариации концентраций халькофильных элементов по разрезу базального оруденелого контакта массива Нюд.

Концентрация Pt + Pd в пробах меланоритов превышает мантийные значения (рис. 2). Это, наряду с низким отношением Cu/Pd, свидетельствует о присутствии кумулусных сульфидов во всем разрезе. Насыщенность пород серой по разрезу массива Нюд, а также практически идентичные спектры халькофильных элементов, нормированных к примитивной мантии (рис. 3), требуют раннего насыщения серой, которое, наиболее вероятно, произошло в промежуточной камере на глубине. Поскольку растворимость серы в магме частично контролируется активностью кремнезема, ассимиляция породами фундамента могла привести к серному насыщению, как предполагается для многих магматических месторождений сульфидов [6]. Дополнительные свидетельства приводятся в работе [3], где на основе анализа нескольких изотопов серы предполагается, что насыщение серой в Мончегорском комплексе произошло скорее в результате ассимиляции магмы породами фундамента, нежели в ответ на добавление внешней серы в систему.

В момент внедрения ассимилированной магмы, содержащей обогащенные ЭПГ сульфидные капли вместе с прото-кумуляусными силикатными минералами, породы фундамента, предположительно, были предварительно нагреты за счет интродуирования ранними дайками (?) и подвергнуты частичному плавлению, как свидетельствует присутствие кварц-полевошпатовых пегматитовых жил. Помимо этого, в при частичном плавлении произошла мобилизация летучих компонентов и, как следствие, локальное обогащение магмы водой и другими флюидами. Это имело двоякий эффект: 1) произошло понижение температуры плавления магмы, которое обусловило частичное плавление кумулусных фаз в кристаллической каше; 2) понизилась вязкость интерстициальной жидкости. Таким образом, с одной стороны, это привело к увеличению пористости кристаллической каши в области нижнего контакта, позволяя сульфидам накапливаться вблизи основания массива. С другой стороны, локальное понижение вязкости магмы облегчило гравитационное осаждение сульфидных капель. Местами, осаждение сульфидной жидкости затронуло породы фундамента, о чем свидетельствуют минерализованные диориты (рис. 2). Проникновение сульфидов в поро-

Рис. 3. Нормированные к примитивной мантии [2] спектры халькофильных элементов в породах массива Нюд и диоритах фундамента.

ды рамы наблюдалось также в комплексе Портимо в Финляндии [5], где контактовое оруденение тянется на десятки метров вглубь фундамента.

Оценка состава родоначальной магмы довольно проблематична для Мончеплутона в связи с отсутствием зон закалки. Близким по составу к такой магме, на наш взгляд, могут выступать палеопротерозойские пикриты Северной Финляндии [4] со средней магнезиальностью ($Mg\#$) 66.7 мол. %. Принимая за исходную магму пикрит с 498 ppm Ni, 86 ppm Cu, 9.54 ppb Pd и 0.76 ppb Ir из работы [1], полученные геохимические данные по базальному платинометальному оруденению Нюда могут быть объяснены сегрегацией сульфидов при значениях R-фактора от 2000 до 4000 при ограниченном фракционировании сульфидной жидкости (рис. 4). Из диаграммы на рис. 4 видно, что моносульфидный твердый раствор (mss) недостаточно представлен в полученном наборе данных. Вероятно, это указывает на наличие обогащенных mss сульфидов на более глубоких уровнях.

Исследования выполнены в рамках темы НИР ГИ КНЦ РАН № 0231-2015-0002.

Рис. 4. Диаграмма бинарных отношений Ni/Pd и Cu/Ir.

Пунктирные линии отражают составы смесей моносльфидного (*mss*) и переходного (*iss*) твердых растворов, кристаллизующихся из фракционирующих сульфидных жидкостей. Сплошные линии показывают разные конечные члены составов *mss* и *iss* с разной степенью фракционирования (F – доля остаточного расплава). D (сульфидный/силикатный расплав): 30000 для ЭПГ, 1000 для Cu и 500 для Ni. Значения D (*mss*/сульфидный расплав) приведены в [2].

Литература

1. Barnes S.J., Lightfoot P.C. Formation of magmatic nickel sulfide ore deposits and processes affecting their copper and platinum group element contents // *Economic geology 100th anniversary volume*. 2005. V. 34. P. 179-214.
2. Barnes S.-J., Maier W.D. The fractionation of Ni, Cu and the noble metals in silicate and sulfide liquids / *Dynamic Processes in Magmatic Ore Deposits and Their Application in Mineral Exploration*, Geological Association of Canada, Short Course. 1999. V. 13. P. 69-106.
3. Bekker A., Grokhovskaya T.L., Hiebert R., Sharkov E.V., Bui T.H., Stadnek K.R., Chashchin V.V., Wing B.A. Multiple sulfur isotope and mineralogical constraints on the genesis of Ni-Cu-PGE magmatic sulfide mineralization of the Monchegorsk Igneous Complex, Kola Peninsula, Russia // *Miner. Deposita*. 2016. V. 51. I. 8. P. 1035-1053.
4. Hanski E., Huhma H., Rastas P., Kamenetsky V.S. The Palaeoproterozoic Komatiite–Picrite Association of Finnish Lapland // *J. Petrol.* 2001. V. 42. P. 855-876.
5. Iljina M.J., Alapieti T.T., McElduff B.M. Platinum-group element mineralization in the Suhanko-Konttijärvi intrusion, Finland // *Australian Journal of Earth Sciences*. 1992. V. 39. I. 3. P. 303-313.
6. Li C., Naldrett A.J. Sulfide capacity of magma; a quantitative model and its application to the formation of sulfide ores at Sudbury, Ontario // *Economic Geology*. 1993. V. 88. I. 5. P. 1253-1260.
7. Savard D., Barnes S.J., Meisel T. Comparison between Nickel-Sulfur Fire Assay Te Co-precipitation and Isotope Dilution with High-Pressure Asher Acid Digestion for the Determination of Platinum-Group Elements, Rhenium and Gold // *Geostandards and Geoanalytical Research*. 2010. V. 34. I. 3. P. 281-291.