

ГЕОЛОГО-ГЕНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РУДНО-МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РИФЕЙСКИХ РИФТОГЕННЫХ УЛЬТРАМАФИТ-МАФИТОВЫХ КОМПЛЕКСОВ С ПЛАТИНОМЕТАЛЛЬНО-МЕДНО-НИКЕЛЕВЫМ ОРУДЕНЕНИЕМ

Кислов Е.В.

Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, e-mail: evg-kislov@ya.ru

Основными промышленными источниками Ni и элементов платиновой группы (ЭПГ) остаются архейские коматиитовые месторождения Австралии и Канады, раннепротерозойский норитовый массив Садбери и пикродолеритовые тела Печенги, перм-триасовые пикродолеритовые массивы Норильск-Талнахского района, латеритные коры выветривания Австралии, Индонезии, Новой Каледонии и других стран. Архейские и раннепротерозойские дунит-гарцбургит-бронзитит-габброноритовые массивы Бушвелд, Стиллуотер, Великая дайка – основные источники малосульфидных руд ЭПГ. Небольшой вклад в добычу дают месторождения пятиэлементной формации (Ni) и россыпи (ЭПГ). В последнее время месторождения сульфидных ЭПГ-Cu-Ni и малосульфидных ЭПГ руд обнаружены в ряде рифейских ультрамафит-мафитовых интрузивов, входящих в состав вулканоплутонических ассоциаций континентальных рифтогенных структур, что позволило выделить рифейскую ЭПГ-Cu-Ni металлогеническую эпоху, наряду с выделяемыми ранее архейской, раннепротерозойской и пермско-триасовой.

Архейские сульфидные Cu-Ni месторождения генетически связаны с коматиитовыми покровами зеленокаменных поясов Австралии, Африки, Канады, Гренландии и Финляндии. В это время проявления плутонической фации никеленосных комплексов редки и, в основном, представлены субвулканическими интрузивами, родственными коматиитовым покровам.

Раннепротерозойская металлогеническая эпоха характеризуется развитием интрузивного ультрамафит-мафитового магматизма и заметным спадом ультраосновного вулканизма. В это время формировался комплекс расслоенных интрузивов докембрийских щитов гарцбургит-бронзитит-анортозит-норитовой формации. Эти интрузивы по содержанию главных элементов тождественны бонинитам, а именно, обогащены MgO и SiO₂. В отличие от бонинитов, они имеют аномально высокие концентрации K, Rb, Zr и отношения изотопов Sr, а также иное распределение РЗЭ. Такие особенности «бонинитоподобных» интрузивов находят удовлетворительное объяснение с позиций их образования из первичных высокомагнезиальных магм типа коматиитов, в значительной (до 10% [Sparks, 1986]) мере ассимилировавших породы сиалической коры. Столь высокая контаминированность коматиитовых расплавов объясняется высокой температурой ликвидуса, достигавшей 1650°C. С другой стороны, такая высокая степень контаминации стала возможной благодаря значительному увеличению мощности земной коры. Такое утолщение коры приводило к тому, что расплавы не достигали поверхности, как в архее, а формировали стратифицированные плутоны.

В течение раннего протерозоя «бонинитоподобные» расслоенные комплексы формировались в два этапа: 1) раннекарельский (сумийский) – 2500-2400 млн лет и 2) свежкарельский – 2100-1850 млн лет. Эти этапы совпадают, соответственно, с началом внутриконтинентального рифтогенеза в пределах архейских щитов и лапландской коллизией, сформировавшей суперконтинент Мегагею [Борукаев, 1999].

На рубеже раннего и позднего протерозоя после лапландской коллизии произошло резкое изменение характера магматизма. Исчезли магматические формации анортозитовая и гранитов рапакиви; зеленокаменные пояса с широко проявленным коматиитовым вулканизмом сменяются преимущественным развитием офиолитовых серий. Смена состава родоначальных магм Ni-носных плутоногенных формаций с коматиитового на толеитовый,

характерный для рифейских никеленосных интрузивов. В координатах «железистость-титанистость» все раннепротерозойские комплексы попадают в поле бонинитов, а рифейские – толеитов. Большинство рифейских Ni-носных интрузивов относится к дунит-троктолит-габбровой формации.

Ранее считалось [Горбунов и др., 1984], что столь радикальное изменение состава никеленосных комплексов привело к их низкой продуктивности в отношении сульфидного оруденения. Но исследования последнего времени свидетельствуют об обратном. Ряд таких интрузивов несет как сульфидное ЭПГ-Cu-Ni, так и малосульфидное ЭПГ оруденение, например, Йоко-Довыренский массив в Северном Прибайкалье.

Йоко-Довыренский дунит-троктолит-габбровый плутон залегает в рифейских карбонатно-терригенных отложениях осевой части Сыннырской рифтогенной структуры. Сформирован 728 ± 3.4 млн. лет назад [Арискин и др., в печати]. Пространственная, вещественная и возрастная близость позволили объединить Йоко-Довыренский массив и базальты Сыннырской рифтогенной структуры в единую вулcano-плутоническую ассоциацию. Сульфидное ЭПГ-Cu-Ni (с повышенным содержанием Co) оруденение массива разведывалось в начале 60-х годов XX в. Наиболее богатая минерализация сконцентрирована в нижней контактовой зоне, несущей явные признаки контаминации. Малосульфидное оруденение ЭПГ обнаружено в последние годы и зафиксировано в горизонтах («рифтах»), характеризующихся максимальной петрографической и минералогической неоднородностью, на границах крупных составных частей расслоенной серии. Возраст, геодинамическое положение, контактовые процессы и металлогеническая специализация объединяют Йоко-Довыренский массив с другими расслоенными интрузивными комплексами. Их сравнение приведено в следующей последовательности: название интрузива, возраст; геодинамическое положение; типы пород; признаки контактового взаимодействия; оруденение; ссылки.

Сыннырская рифтогенная структура (Олокитский прогиб): Йоко-Довыренский – 728 ± 3.4 млн лет; континентальный рифт, плюм, вулcano-плутонический комплекс; дунит, троктолит, габбро; ксенолиты скарнов, контаминация; сульфидное Cu-Ni, малосульфидное ЭПГ. Малоизученные ультраосновные тела с сульфидным Cu-Ni оруденением и признаками коровой контаминации, самое крупное – Авкитский массив [Кислов, 1998, 2006; Арискин и др., 2009]. Возможно, Кингашский, Талажинский и другие интрузивы Присаянья можно параллелизовать с интрузивами Сыннырской рифтогенной структуры, что дает возможность говорить о крупной магматической провинции.

Рифтогенная структура Мидконтинент (магматизм Кивинован): Дулут (Миннесота, США) - 1120 млн лет; континентальный рифт, плюм, вулcano-плутонический комплекс; троктолит, анортозит; ксенолиты роговиков, контаминация; сульфидное Cu-Ni, малосульфидное ЭПГ, ильменит-титаномагнетитовое. Интрузивы озера Верхнее (Онтарио, Канада): Кристалл лэйк (месторождение Грэйт Лэйкс Никел) – континентальный рифт; перидотит, норит, анортозит; ксенолиты роговиков; малосульфидное ЭПГ [Налдретт, 2003]; Джодье лэйк (месторождение Макрае) – 1108 млн. лет; континентальный рифт; троктолит, габбро; малосульфидное ЭПГ [Mulja, Mitchell, 1991; Good, Crocket, 1994 b; Barrie et al., 2002]; Ту дак лэйк (месторождение Маратон) – континентальный рифт; габбро; ксенолиты эффузивов и габбро, контаминация; малосульфидное ЭПГ [Watkinson, Ohnenstetter 1992; Good, Crocket, 1994 a; Barrie et al., 2002].

Маскоккс (Нунавут, Канада) – 1270 млн лет; континентальный рифт, плюм, вулcano-плутонический комплекс; дунит, перидотит, пироксенит, габбро; контаминация; сульфидное Cu-Ni, малосульфидное ЭПГ [Barnes et al., 1997].

Войсис Бэй (Лабрадор, Канада) – 1333 млн лет; троктолит, анортозит; ксенолиты гнейсов, контаминация; сульфидное Cu-Ni [Налдретт, 2003]. Базальты, предположительно комагматичные Дулуту (Кивино), Маскокксу (Коппермайн ривер) и Войсис Бэю (Силл лэйк),

несут оруденение самородной меди. В базальтах Сыннырской рифтогенной структуры такое оруденение пока не обнаружено.

Джинчуан (Ганьсу, Китай) – 832 млн лет; континентальный рифт, плюм, вулканно-плутонический комплекс; перидотит; скарны, контаминация; сульфидное Cu-Ni [Кислов, 2011 и ссылки в этой работе].

Пояс интрузивов Кабанга-Мусонгати (Западная Танзания – Бурунди) – 1400 млн лет; континентальный рифт; перидотит, оливиновое габбро, анортозит, габбронорит; контаминация; сульфидное Cu-Ni, малосульфидное ЭПГ, никель-латеритное, V-содержащее ильменит-титаномагнетитовое [Maier et al., 2008, 2011].

Обращает на себя внимание сходство металлогенической специализации рифейских ультрамафит-мафитовых комплексов в составе континентальных рифтогенных структур. Так, для массивов Йоко-Довыренского, Дулут и Максокс, пояса Кабанга-Мусонгати характерны как сульфидные ЭПГ-Cu-Ni руды, так и малосульфидное оруденение ЭПГ. Для интрузивов Войсейс Бей и Джинчуан свойственны только богатые сульфидные ЭПГ-Cu-Ni руды. Это может быть вызвано особенностью кинетики заполнения интрузивной камеры, приведшей к резкому осаждению всего потенциального оруденения. Другой причиной может быть недостаточная изученность в случае Войсейс Бей и отсутствие расслоенной серии из-за эрозии в случае Джинчуан. Для интрузивов оз. Верхнее характерно только малосульфидное оруденение ЭПГ, что соответствует его формированию из небольших порций магмы, претерпевшей фракционирование в промежуточной камере, где и закристаллизовался основной ее объем. В некоторых случаях в габброидных дифференциатах отмечается ильменит-титаномагнетитовое оруденение (Дулут, Кабанга-Мусонгати). Латеритное оруденение характерно для слабо эродированного интрузива Мусонгати, расположенного в экваториальной области.

Анализ геодинамического положения и состава рудоносных рифейских ультрамафит-мафитовых интрузивов позволяет сделать следующие выводы. Рифейская ЭПГ-Cu-Ni металлогеническая эпоха характеризуется толеитовым составом родоначальной магмы рудоносных интрузивов. Большинство их относится к дунит-троктолит-габбровой формации и входит в состав вулканно-плутонических ассоциаций. Формирование рудоносных интрузивов связано с активностью мантийных плюмов в зонах континентального рифтогенеза. Рифт обеспечивал крупным объемам продуктивной магмы достижение верхней части земной коры. Значительный объем магмы, насыщенный сульфидами, позволял сформировать крупное рудное тело. Развитие мантийных плюмов сопровождалось высокой степенью парциального плавления, так что рудные компоненты не могли оставаться в мантии. В результате этого магма содержала достаточное количество ЭПГ, Ni и Cu для формирования руды. На ранних стадиях рифтогенеза на периферии плюмов кора прогибалась, осадки заполняли рифт. Исходный расплав в подводящих каналах и гипабиссальных камерах активно взаимодействовал с породами фундамента, рыхлыми карбонатными и терригенными осадками. Контактное взаимодействие с вмещающей толщей сыграло решающую роль в локализации сульфидного Cu-Ni оруденения. Избирательная контаминация без существенной валовой ассимиляции обогащала магму водой, щелочами, S, вероятно, также Cl, SiO₂ и органическим веществом, что определило сложный состав магматического флюида. Флюидно-магматическое взаимодействие оказывало значительное влияние на процессы петро- и рудогенеза. Обогащенные хлором восстановленные флюиды экстрагировали, переносили и накапливали ЭПГ, Cu и другие компоненты, что приводило к формированию малосульфидной ЭПГ минерализации.

Работа выполнена при поддержке проекта МПГК № 592 «Образование континентальной коры в Центрально-Азиатском складчатом поясе в сравнении с современными структурами Западной Пацифики»

Литература

Арискин А.А., Конников Э.Г., Данюшевский Л.В. и др. Довыренский интрузивный комплекс: проблемы петрологии и сульфидно-никелевой минерализации // *Геохимия*. 2009. № 5. С. 451-480.

Арискин А.А., Костицын Ю.А., Конников Э.Г. и др. Геохронология Довыренского интрузивного комплекса в неопротерозое (Северное Прибайкалье, Россия) // *Геохимия*, в печати.

Борукаев Ч.Б. Словарь-справочник по современной тектонической терминологии. – Новосибирск: НИЦ ОИГГиМ СО РАН, 1999. – 70 с.

Горбунов Г.И., Генкин А.Д., Дистлер В.В. Геолого-структурные и петрологические условия формирования медно-никелевых месторождений СССР // *Металлогения и рудные месторождения. Доклады 27 Международного геологического конгресса*. Т. 12. Секция С12. М., 1984. С. 184-195.

Кислов Е.В. Авкитское медно-никелевое проявление в поле Холоднинского свинцово-цинкового месторождения и его аналоги // *Анализ состояния и развития Байкальской природной территории: минерально-сырьевой комплекс*. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2006. С. 24-27.

Кислов Е.В. Йоко-Довыренский расслоенный массив. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 1998. – 265 с.

Кислов Е.В. Новые данные по петрологии и рудообразованию платинометалльно-медно-никелевого месторождения Джиньчуань (Ганьсу, Китай) // *Минерагения Северо-Восточной Азии*. – Улан-Удэ: ИД «Экос», 2011. С. 71-74.

Налдретт А.Дж. Магматические сульфидные месторождения медно-никелевых и платинометалльных руд. – СПб.: СПбГУ, 2003. – 487 с.

Barnes S.-J., Zientek M.L., Seversen M.J. Ni, Cu, Au, and platinum-group element contents of sulphides associated with intraplate magmatism: a synthesis // *Canadian Journal of Earth Sciences*, 1997. V. 34. № 4. P. 337-351.

Barrie C.T., MacTavish A.D., Walford P.C. et al. Contact-type and magnetite reef-type Pd-Cu mineralization in ferroan olivine gabbros of the Coldwell complex, Ontario // *Cabri L.J. (Ed.) Can. Inst. Min. Metall. Petrol. Spec. The geology, geochemistry, mineralogy and mineral beneficiation of platinum-group elements*. 2002. V. 54. P. 321-337.

Good D.J., Crocket J.H. Genesis of the Marathon Cu-Platinum-group element deposit, Port Coldwell alkaline complex, Ontario: a Midcontinent rift-related magmatic sulphide deposit // *Economic Geology*. 1994 a. V. 89. № 1. P. 131-149.

Good D.J., Crocket J.H. Origin of albite pods in the Geordie Lake gabbro, Port Coldwell alkaline complex, Northwestern Ontario: evidence for late-stage hydrothermal Cu-Pd mineralization // *Canadian Mineralogist*. 1994 b. V. 32. № 3. P. 681-701.

Maier W.D., Barnes S.-J., Bandyayera D. et al. Early Kibaran rift-related mafic-ultramafic magmatism in western Tanzania and Burundi: petrogenesis and ore potential of the Kapalagulu and Musongati layered intrusions // *Lithos*. 2008. V. 101. P. 24-53.

Maier W.D., Barnes S.-J., Ripley E.M. The Kabanga Ni sulfide deposits, Tanzania: a review of ore-forming processes // *Reviews in Economic Geology*. 2011. V. 17. P. 217-234.

Mulja T., Mitchell R.H. The Geordie Lake intrusion, Coldwell complex, Ontario: a palladium- and tellurium-rich disseminated sulfide occurrence derived from an evolved tholeiitic magma // *Economic Geology*. 1991. V. 86. № 5. P. 1050-1069.

Sparks R.S.J. The role of crustal contamination in magma evolution through geological time // *Earth and Planetary Science Letters*. 1986. V. 78. P. 211-223.

Watkinson D.H., Ohnenstetter D. Hydrothermal origin of platinum-group mineralization in the Two Duck Lake intrusion, Coldwell complex, Northwestern Ontario // *Canadian Mineralogist*. 1992. V. 30. P. 121-136.