

Платонов Е. Г., Пovyшева Л. Г., Устрицкий В. И. О генезисе карбонатных марганцевых руд Пай-Хой-Новоземельского региона // Литология и полезные ископаемые, 1992. № 4. С. 76–89.

Рой С. Месторождения марганца. М.: Мир, 1986. 520 с.

Сапожников Д. Г. Возможные источники металла при образовании марганцевых месторождений // Марганцевое рудообразование на территории СССР. М.: Наука, 1984. С. 4–21.

Силаев В. И., Сокерин М. Ю., Тихомирова В. Д., Глухов Ю. В., Лютов В. П. Гидроксиды марганца в аллювии как пример аквагенного минералообразования // Литология и полезные ископаемые, 2000. № 4. С. 364–375.

Столяров А. С., Потконен Н. И., Ивлева Е. И. Формирование крупных и весьма крупных месторождений и высококачественных руд марганца // Отечественная геология, 1998. № 4. С. 64–69.

Страхов Н. М., Штеренберг Л. Е., Калинин В. В., Тихомирова Е. С. Геология осадочного марганцеворудного процесса. М.: Наука, 1968. 496 с.

Холодов В. Н. Новое в познании катагенеза. II. Элизийный катагенез // Литология и полезные ископаемые, 1982. № 5. С. 15–32.

Холодов В. Н. О роли сероводородных бассейнов в осадочном рудообразовании // Литология и полезные ископаемые, 2002. № 5. С. 451–473.

Юдович Я. Э., Керпус М. П. Геохимия черных сланцев. Л.: Наука, 1988. 271 с.

Bonatti E., Zerbi M., Kay R., Rydell H. Metalliferous deposits from the Apennine ophiolites: Mesozoic equivalents of modern deposits from oceanic spreading centers // Geol. Soc. Amer. Bull., 1976. Vol. 87. P. 83–94.

Buhn B., Stanistreet I. G., Okrusch M. Late Proterozoic outer shelf manganese and iron deposits at Otjosondu (Namibia) related to the Damaran ocean opening // Economic Geology, 1992. Vol. 87. P. 1393–1411.

Frakes L., Bolton B. Effects of oceanic chemistry, sea level, and climate on the formation of primary sedimentary manganese ore deposits // Economic Geology, 1992. Vol. 87. P. 1207–1217.

Roy S. Environments and processes of manganese deposition // Economic Geology, 1992. Vol. 87. P. 1218–1236.

Roy S. Sedimentary manganese metallogenesis in response to the evolution of the Earth system // Earth Science Review, 2006. Vol. 77. P. 273–305.

Е. В. Кислов

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

**Эмпирическая геолого-генетическая модель формирования
платинометалльно-медно-никелевого оруденения
в рифейских ультрамафит-мафитовых комплексах**

Основными промышленными источниками Ni и элементов платиновой группы (ЭПГ) остаются архейские коматитовые тела Камбалды, раннепротерозойский но-

ритовый массив Садбери, раннепротерозойские пикродолеритовые тела Печенги, пермо-триасовые пикродолеритовые массивы Норильск-Талнахского района, латеритные коры выветривания. Архейские и раннепротерозойские дунит-гарцбургит-бронзитит-габброноритовые массивы Бушвельд, Стиллиутер, Великая дайка – основные источники малосульфидных руд и ЭПГ. Но в последнее время сульфидное ЭПГ-Cu-Ni и малосульфидное ЭПГ оруденение обнаружено в ряде рифейских ультрамафит-мафитовых интрузивов, входящих в состав вулcano-плутонических ассоциаций континентальных рифтогенных структур, что позволило выделить новую металлогеническую эпоху наряду с архейской, раннепротерозойской и мезозойской.

Архейские сульфидные Cu-Ni месторождения генетически связаны с коматиитовыми покровами в зеленокаменных поясах Австралии, Африки, Канады, Гренландии и Финляндии. Раннепротерозойская металлогеническая эпоха, напротив, характеризуется развитием интрузивного ультрамафит-мафитового магматизма и заметным спадом ультраосновного вулканизма. В это время сформировался комплекс расслоенных интрузивов докембрийских щитов, ранее относимый к перидотит-пироксенит-норитовой [Кузнецов, 1964], а сейчас – гарцбургит-бронзитит-анортозит-норитовой формации [Балькин, 2002].

На рубеже раннего и позднего протерозоя после лапландской коллизии произошло резкое изменение характера магматизма. Исчезли распространенные в архей-раннепротерозойское время магматические формации: анортозитовая и гранитов рапакиви; зеленокаменные пояса с широко проявленным коматиитовым вулканизмом сменяются преимущественным развитием офиолитовых серий. На этом возрастном рубеже происходит смена состава родоначальных магм никеленосных плутоногенных формаций с коматиитового на толеитовый, характерный для позднепротерозойских (рифейских) никеленосных интрузивов. В координатах «железистость–титанистость» все раннепротерозойские комплексы попадают в поле бонинитов, а рифейские – толеитов. Большинство рифейских никеленосных 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. Как оказалось, ряд таких интрузивов несет как сульфидное платино-металльно-медно-никелевое, так и малосульфидное платинометалльное оруденение, например, Йоко-Довыренский массив в Северном Прибайкалье.

Йоко-Довыренский дунит-троктолит-габбровый плутон, сформированный 700 млн лет назад, залегает в рифейских карбонатно-терригенных отложениях осевой части Сыннырской рифтогенной структуры. Пространственная, вещественная и возрастная близость позволили объединить этот 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 гг. 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 («рифках»), характеризующихся максимальной петрографической и минералогической неоднородностью, на границах крупных составных частей расслоенной серии [Кислов, 1998].

Возраст, геодинамическое положение, контактовые процессы и металлогеническая специализация объединяют Йоко-Довыренский массив с другими расслоенными интрузивными комплексами. Их сравнение приведено в следующей последова-

тельности: название интрузива, возраст; геодинамическое положение; типы пород; признаки контактового взаимодействия; оруденение; ссылки.

Сыннырская рифтогенная структура (Олокитский прогиб): Йоко-Довыренский – 740 млн лет; континентальный рифт, плюм, вулcano-плутонический комплекс; дунит, троктолит, габбро; ксенолиты скарнов, контаминация; сульфидное Cu-Ni, малосульфидное ЭПГ [Кислов, 1998].

Джинчуан (Ганьсу, Китай) – 825 млн лет; континентальный рифт, плюм; перидотит; скарны, контаминация; сульфидное Cu-Ni [Li et. al., 2005].

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 [Налдретт, 2003]. Интрузивы озера Верхнее (Онтарио, Канада): Кристалл Лэйк – континентальный рифт; перидотит, норит, анортозит; ксенолиты роговиков; малосульфидное ЭПГ [Налдретт, 2003]. Джодье Лэйк – 1108 млн лет; континентальный рифт; троктолит, габбро; малосульфидное ЭПГ [Mulja, Mitchell, 1991]. Ту дак Лэйк – континентальный рифт; габбро; ксенолиты эффузивов и габбро, контаминация; малосульфидное ЭПГ [Watkinson, Ohnenstetter 1992].

Маскокс (Нунавут, Канада) – 1270 млн лет; континентальный рифт, плюм, вулcano-плутонический комплекс; дунит, перидотит, пироксенит, габбро; контаминация; сульфидное Cu-Ni, малосульфидное ЭПГ [Barnes et al., 1995].

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

Никеландия (Гойяс, Бразилия) – 1560–1600 млн лет; континентальный рифт; дунит, троктолит, анортозит; хромитовое, ильменит-титаномагнетитовое, никельлатеритное [Ferreira-Filho et al., 1992].

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

Обращает на себя внимание сходство металлогенической специализации рифейских ультрамафит-мафитовых комплексов в составе континентальных рифтогенных структур. Так, для массивов Йоко-Довыренского, Дулут и Маскокс, 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 комплексов оз. Верхнее характерно только малосульфидное оруденение ЭПГ, что соответствует их формированию из небольших порций магмы, претерпевшей фракционирование в промежуточной камере, где и закристаллизовался основной ее объем. Нетипичная металлогеническая специализация Никеландии (хромитовое и магнетит-ильменитовое оруденение, латеритное месторождение Ni) может объясняться как интенсивным метаморфизмом, так и недостаточной изученностью из-за

значительных размеров, плохой обнаженности и малодоступности интрузива. Латеритное оруденение характерно также для слабо эродированного интрузива Мусонгати.

Анализ геодинамического положения и состава рудоносных рифейских ультрамафит-мафитовых интрузивов позволяет сделать следующие выводы. Их формирование может быть 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 оруденения. На ранних стадиях рифтогенеза на периферии плюмов кора прогибалась, осадки заполняли рифт. Исходный расплав в гипабиссальных камерах активно взаимодействовал с породами фундамента, рыхлыми карбонатными и терригенными осадками. Контаминация без существенной валовой ассимиляции обогащала магму водой, щелочами, S, вероятно, также Cl, SiO₂ и органическим веществом, что определяет сложный состав магматического флюида, оказывающего значительное воздействие на процессы петро- и рудогенеза. Контактные процессы в значительной мере определяют локализацию сульфидного Cu-Ni оруденения. Обогащенные хлором флюиды ответственны за экстракцию, перенос и накопление ЭПГ – формирование малосульфидной минерализации.

Литература

Балыкин П. А. Формационные типы перидотит-габбровых массивов и составы их исходных расплавов. Автореф. дис. ... докт. геол.-мин. наук. Новосибирск: СО РАН, 2002. 44 с.

Горбунов Г. И., Генкин А. Д., Дистлер В. В. Геологоструктурные и петрологические условия формирования медно-никелевых месторождений СССР // Металлогения и рудные месторождения. Докл. 27 Межд. геол. конгресса. М., 1984. Т. 12. Секция С12. С. 184–195.

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

Кузнецов Ю. А. Главные типы магматических формаций. М.: Недра, 1964. 385 с.

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

Barnes S.-J., Francis D. The distribution of platinum-group elements, nickel, copper, and gold in the Muskox layered intrusion, Northwest Territories, Canada // *Economic Geology*, 1995. Vol. 90. № 1. P. 135–154.

Ferreira-Filho C. F., Nilson A. A., Naldrett A. J. The Niquelandia mafic-ultramafic complex, Goias, Brazil: a contribution to the ophiolite stratiform controversy based on new geological and structural data // *Precambrian Research*, 1992. Vol. 59. № 1–2. P. 125–143.

Li X. H., Su L., Chung S.-L. et al. Formation of the Jinchuan ultramafic intrusion and the world's third largest Ni-Cu sulfide deposit: associated with the ~825 Ma south China mafic plume // *Geochemistry, geophysics, geosystems*, 2005. Vol. 6. № 11. P. 1–16.

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. Vol. 101. P. 24–53.

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. Vol. 86. № 5. P. 1050–1069.

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

Р. А. Бадмацыренова

*Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ
brose@gin.bscnet.ru*

Модель формирования ильменит-титаномагнетитовых месторождений на примере Арсентьевского массива (Западное Забайкалье)

Основные и ультраосновные породы всегда вызвали пристальный интерес исследователей, так как являются одними из немногих источников информации о составе вещества глубинных зон Земли, а также носителями титаномагнетит-ильменитовой минерализации (Бушвелд, Виндимура, Маскок, Паньчжихуа). Проблема образования железорудных месторождений, вообще, и магматических титаномагнетит-ильменитовых месторождений, в частности, принципиально важна и занимает особое место в анализе рудогенерирующей способности магматических систем, ибо относится к ключевым вопросам теории рудообразования. В этом плане расслоенные рудоносные габбро-сиенитовые массивы Моностойского комплекса (Западное Забайкалье) являются благоприятными объектами для исследований.

Одним из типичных представителей этой ассоциации является Арсентьевский габбро-сиенитовый массив. Этот массив изучен С. М. Смирновым и А. И. Перельгиной [1959], О. А. Богатиковым [1966] которые пришли к выводу об одновозрастности щелочных и основных пород хребта Моностой. Позднее на основании взаимоотношений Арсентьевского массива с раннепалеозойскими гранитами габброиды были отнесены к образованиям, предшествующим раннепалеозойским гранитам, а сиениты – к интрузиям средне- или даже мезозойского возраста [Гордиенко и др., 1978]. Массив расположен на юго-восточном склоне хребта Моностой в его центральной части, в 4–5 км к западу и северо-западу от с. Арсентьевка и Сутой, расположенных на левом берегу р. Селенги. В плане он имеет овальную форму, слегка удлиненную в меридиональном направлении, и занимает площадь около 20 км².

Сложен массив породами габброидной и сиенитовой серий. Габброиды слагают его южную часть, а сиениты – северную. Породы первой серии образуют ряд от ультрамафических разновидностей (пироксенитов, перидотитов) до анортозитов, которые участвуют в концентрически зональном строении интрузива. Центральная часть его занята анортозитами, окаймленными лейкократовыми габбро и трахитоидными оливиновыми габброидами. Судя по магнитометрической съемке, интрузив продолжается в юго-западном направлении еще на несколько сотен метров. В целом, габброидная часть интрузива в разрезе имеет, по-видимому, форму пологой асимметричной воронки с центром, несколько смещенным к югу. Сиениты относятся к более