БЛАГОРОДНОМЕТАЛЛЬНАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В КОМАТИИТАХ И ИНТРУЗИВНЫХ УЛЬТРАБАЗИТАХ В АРХЕЙСКИХ ЗЕЛЕНОКАМЕННЫХ ПОЯСАХ КАРЕЛИИ (ОБРАМЛЕНИЕ ВОДЛОЗЕРСКОГО БЛОКА)

Кулешевич Л.В.

Институт геологии КарНЦ РАН, Петрозаводск, kuleshev@krc.karelia.ru

Металлогенический потенциал ультраосновных комплексов архейских зеленокаменных поясов (ЗП), обрамляющих Водлозерский блок и формировавшихся 3.0-2.85 млрд. лет назад в обстановках задуговых бассейнов, определяется медно-никелевыми рудами, в меньшей мере хромитовыми, и ассоциирующими с ними элементами платиновой группы (PGE). Пентландит-халькопирит-пирротинные руды установлены в коматиитах и интрузивных ультрабазитах. Вкрапленно-прожилковые и вкрапленно-пластовые залежи тяготеют к нижним («придонным») частям интрузивов или крупных коматиитовых тел, расположенных вблизи колчеданных залежей. К богатым прожилковым и брекчиевидным рудам, содержащим халькопирит, тяготеют повышенные концентрации платиноидов. Рудные тела представлены несколькими генерациями сульфидов, сформированных на разных стадиях процесса рудообразования и преобразования вещества. На коллизионном этапе вмещающие и интрузивные комплексы ЗП деформируются, их преобразования отвечают преимущественно зеленосланцевой – эпидот-амфиболитовой фациям метаморфизма, в локальных сдвиговых зонах породы бывают сильно рассланцованы и подвергаются метаморфогенно-метасоматическим изменениям. Ультрабазиты замещаются серпентинитами, тальк-хлорит-(тремолит)-серпентиновыми, тальк-карбонат-хлоритовыми и тальковыми сланцами, иногда листовитовыми. При этом возникают месторождения нерудного сырья – серпентинитов, тальк-хлоритового камня и талька. На этом этапе происходит замещение хромита на магнетит, пентландита и пирротина на миллерит, пирит, в ассоциации с ними, тем не менее, встречаются сульфидарсениды и стибноарсениды PGE. Вынос Ni и Cr во вмещающие толщи сопровождается их частичным рассеянием и образованием Ni-Co-Sb-S-As-минерализации (кобальтина, герсдорфита и др.) и фукситовых сланцев. Ni-Co-стибносульфидарсениды входят уже в Au-S-As ассоциацию позднеархейских шир-зон.

Целью проводимой работы было изучение благородных металлов в медно-никелевых рудах архейских ультрабазитов Карелии и создание базы данных полезных ископаемых (Ni, Cr, Pt) конкретных литогеохимических обстановок. В задачи входило установление распределения Ni, Cu, Co, Cr и платиноидов (PGE и минералов) в архейских рудопоясах в обрамлении Водлозерского блока. Содержание элементов в породах и рудах определялось с помощью ICP-MS анализа, минералы никелевых, хромитовых руд и платиноиды в них изучались с использованием микрозондового анализатора в ИГ КарНЦ РАН (г. Петрозаводск). Для наполнения базы данных использовались авторские материалы по изучению платиноидов, результаты опробования ультрабазитов отдельных структур и данные минерально-сырьевой базы Р. Карелия [5].

В разновозрастных ЗП Канады выделяются два уровня ультраосновного магматизма мезо- и неоархейского возраста. Причем более значительные ресурсы никелевых руд сосредоточены в неоархейских ЗП, в ультрабазитах, контаминированных серой. Как показано в анализе С.А. Турченко [8], в более древних (>3 млрд. лет) ультрабазитах ЗП Земли крупные месторождения никеля не встречаются, в отличие от неоархейских ЗП, содержащих крупные месторождения. Для архейских ЗП Карелии характерны несколько возрастных интервалов проявления ультрабазитового магматизма и различная контаминация серой. В мезоархейских ЗП в обрамлении Водлозерского блока ультрабазиты встречаются на двух возрастных уровнях. Более контаминированы серой коматииты и ультрабазиты, совмещенные с колчеданными залежами, в них и были выявлены все основные сульфидные медно-никелевые рудные объекты, такие как небольшие месторождения и проявления Каменноозерской, Хаутаваарской структуры. (В Костомукшской структуре такие проявления отсутствуют). Рассмотрим месторождения /рудопояса Ni, Cr и присутствие в них платиноидов по отдельным площадям и рудным объектам в ультрабазитах в ЗП обрамления Водлозерского блока.

Ведлозерско-Сегозерский ЗП В Ведлозерско-Сегозерском ЗП на Хаутаваарской площади ультраосновные породы выявлены на двух возрастных уровнях и представлены коматиитами и интрузивными ультрабазиитами. Более древние ультраосновные породы (3.05-2.94 млрд. л) развиты в лоухиваарской свите, более молодые (~2.9-2.85 млрд. лет) – секут калаярвинскую свиту. Коматииты и интрузивные ультрабазииты образуют пластовые тела разной длины и мощности. Наиболее крупные дифференцированные интрузии ультрабазиитов Хюрсюля (длиной ~10 км), Кивач (7 км), Петусъярви (10 км) представлены оливинитами, перидотитами и прорывающими их пироксенитами, габбро, габброноритами (возраст последних ~2.83 млрд. л.). В восточной части Хаутаваарской структуры ультрабазииты пересекают колчеданные руды, где и были установлены наиболее высокие концентрации Ni и Pt-Pd. К наиболее значимым проявлениям никеля относятся Хаутаваарское-Ni, Хюрсюльское, Сурьярвинское, Кайноважа. Средние содержания Ni на этих рудных объектах составляют 0.26-0.6 %. Хаутаваарское никелевое месторождение было выявлено благодаря детальным производственным работам, проводимым КГЭ (Мустонен, 1954 г., Бреслер, 1955 г.; С.А. Морозова, 1973 г.). Руды вкрапленно-прожилковые, халькопирит-пентландит-пирротиновые по составу. Ресурсы никеля составляют около 3 тыс. т, при среднем содержании 0.49 % Ni (максимально – до 1.5 %). В рудах с содержанием Cu до 1 % установлены платиноиды: Σ PGE – от 1-4.3 г/т (по данным М.М. Лаврова, Н.Н. Трофимова) до 8 г/т (по, данным В.В. Сиваева за 1988 г.). В слабоминерализованных ультрабазиитах и сланцах по ним Σ PGE не превышает 0.045-0.007 г/т, в рудах С-154 – 0.8-1.1 г/т, С-152 – 2.85 г/т. Платиноиды представлены меренскитом, Pd-мелонитом, сперрилитом, Pd-Ni-Bi-Sb-Te-фазами, встречаются теллуросадбериит, холингвортит [3]. Метаморфогенно-метасоматические преобразования сопровождаются образованием хлорит-тальк-карбонат-тремолитовых сланцев и переотложением платиноидов совместно с Cr во вмещающие сланцы, в которых содержание Σ PGE достигает 3.18-4.3 г/т (в фукситовых сланцах) и до 1.71-1.85 г/т (в черных сланцах), Au 0.007-0.12 г/т [4].

В интрузивных ультрабазиитах массива Хюрсюля, в двух линзовидных залежах пентландит-пирротиновых руд (Ni 0.25-0.5 %), а также выявлено гипергенное Ni-Si-проявление. Σ PGE в рудах достигает 4-8.25 г/т (Au 0.05-0.18 г/т), повышенное содержание PGE отмечается и в пироксенитах. В массиве Кивач содержание Ni – 0.6-2 % (в С-5), Cu – 0.6-1.3 % (по данным С.М. Бреслер, 1956 г.). Повышенные концентрации благородных металлов тяготеют к Ni-рудам (Σ PGE 0.56 г/т, Au 0.1 г/т). В массиве Петусъярви Ni 0.36-0.43 %, PGE не превышают предела обнаружения. На участках Ведлозерском и Новые Пески были выявлены лишь маломощные тела ультрабазиитов с повышенными концентрациями Ni 0.14 %, Cu 0.12 %, Cr 0.3 %, Co 232 ppm в них и в колчеданных рудах.

В Койкарской структуре интрузивные ультрабазииты прорывают центральную часть структуры (северо-западнее колчеданной залежи). Значимых концентраций сульфидов в этих ультрабазиитах не обнаружено. Прослой метакматиитов и их туфов в СВ части структуры образуют маломощные горизонты севернее колчеданной залежи. В них выявлена рассеянная Au-содержащая Ni-S-As минерализация. Комплекс нерасчлененных ультрабазиитов Эльмусской площади расположен севернее оз. Педролампи. С ним связаны небольшие никелевые проявления Педроярви и Столбовая гора.

В СЗ обрамлении Водлозерского блока (юго-восточнее оз. Сегозеро) известны лишь реликты зеленокаменных структур (ЗС), сохранившиеся в гранитогнейсах. К ним относятся Паламбинская структура, участки Каллиево, Вожемское, Калаламби, Карельская Масельга, Листья губа и др. На этапе метаморфогенно-метасоматического преобразования ультрабазииты этих небольших структур превращаются в хлорит-тальк-серпентиновые, хлорит-тальковые сланцы и талькиты, которые в настоящее время выделяются только как объекты нерудного талькового сырья. При таких изменениях происходит интенсивный вынос рудогенных элементов (Ni, Co, Cr) из ультрабазиитов. Тем не менее, в сланцах встречается виоларит-пирротиновая или миллерит-пиритовая минерализация с Ni-сульфоарсенидами и платиноидами (сульфоарсениды палладия, садбериит, сперрилит).

В **Сумозерско-Кенозерском ЗП** коматииты и интрузивные ультрабазииты наиболее широко представлены в Каменноозерской зеленокаменной структуре. Платинометалльная минерализация установлена в никелевых и хромитовых рудах, связанных с коматиитами и интрузивными ультрабазиитами, которые здесь также встречаются на двух возрастных уровнях. В коматиитах Кумбуксин-

ской зоны на участках Золотые Пороги и Лещевском выявлены несколько пластовых тел коматиитов, в которых установлены залежи вкрапленно-прожилковых халькопирит-пентландит-пирротиновых и миллерит-(магнетит)-пиритовых руд с содержанием Ni 0.52-0.87 % (до 3.5 %), Cu 0.02-0.2%, Co 0.01-0.1 % (по работам В.Н. Фурмана и В.М. Тытыка за 1983-1997 годы. В халькопирит-пентландит-пирротиновых рудах участка Лещевского содержание Ni составляет 0.37-1.8 %, Cu 0.02-0.15 %, Co 0.011-0.062 %. Запасы никеля Золотопорожского проявления по категории C₁+C₂ составляют 6.2 тыс. т, ресурсы – 9.3 тыс. т. В этих рудах обнаружена рассеянная платинометаллическая минерализация (сперрилит, арсенопалладинит).

Однако основной металлогенический потенциал Каменноозерского рудного района составляют Cu-Ni-месторождения и проявления, связанные с интрузиями ультрабазитов Каменноозерского комплекса. Среди них наиболее значительны месторождения Восточно-Вожминское, проявления Вожминской группы (Центрально- и Западно-Вожминские залежи № 1-5), Кумбуксинское, Лебяжинское, Светлоозерское (Центральное и Восточное). Содержание сульфидов в рудах колеблется от 5-10 до 80-100 %. Средние содержания Ni на месторождениях Каменноозерской группы равны 0.3-1.03 %, максимальные достигают нескольких % (на Восточно-Вожминском месторождении – 3-4 %, на Лебяжинском – 0.41-8 %). Запасы категорий C₁ и C₂ в разных объектах составляют 20.2-33.9 тыс. т, а прогнозные ресурсы оцениваются от 15.8 до 66.2 тыс. т, по данным производственных работ КГЭ (В.М. Тытыка, А.В. Федюка, В.Н. Фурмана, С.А. Морозова, [5]). Эти же проявления оценивались и на медь, запасы которой составляют 1.6-13.9 тыс. т, ресурсы от 2 до 78 тыс. т (по разным объектам) при средних содержаниях Cu 0.1-0.42 % (до 3.2 %), Co 0.02-0.17 %. К рудам богатым медью приурочены наиболее значимые концентрации платиноидов: среднее содержание $\Sigma\text{PGE}=1$ г/т (Pt до 1.07, Pd – 3.5 г/т). На Восточно-Вожминском месторождении установлены Pd-мелонит, сперрилит, стибно-теллуридо-палладиниты. В халькопирит-пентландит-пирротиновых вкрапленно-прожилковых рудах (С-109) проявления Светлого распространены кобальтин, сперрилит, стибнопалладинит, мертиит, встречается ирарсит, золото, галенит, а в ассоциации с миллеритом и пиритом (С-144) обнаружены стибнопалладинит, золото.

Хромитовые руды в Каменноозерской структуре были обнаружены лишь в нескольких интрузиях. Залежи маломощные с невысокими средними концентрациями Cr, Ni и PGE. На рудопроявлении Лексинском содержание Cr₂O₃ достигает 33 %, Прибрежном – 29.6 %, Приграничном – 23.3 % [5]. На Лексинском проявлении в хромитовых рудах обнаружены высокотемпературные платиноиды, лаурит, сперрилит.

В **Южно-Выгозерском ЗП** коматииты и интрузивные ультрабазиты представлены в небольших архейских ЗС – Рыбозерской и Конжозерской. Зеленокаменные породы прорываются Шилосско-Рыбозерским плагиигранитным массивом, возраст которого 2.86 млрд. л. С коматиитами связаны Cu-Ni-S руды проявлений Рыбозерское, Западно-Рыбозерское, группа Конжозерских (№ 1, Южным, Северным), Ялдозерское, Ламбозерское. В никелевых рудопроявлениях участка Рыбозеро средние содержания Ni составляют 0.34-0.54 %, в группе Конжозерских – 0.38 (до 1.63 %), на участке Ламбозерском – до 0.65 % [5]. Рудопроявления Западного фланга Рыбозерской структуры приурочены к амфиболитам по пироксенитам и вмещающим толщам. В комплексных V-Ti-Fe-S-Cu-Ni-рудах (С-7) кроме Ti-Fe-оксидов (Fe_{ср.} 17.3 %) развиты сульфиды – халькопирит, пирротин, пирит, пентландит, виоларит (по пентландиту), мелонит NiTe, сфалерит, реже встречаются рениит, селеногаленит, гринокит. В ассоциации с пентландитом, замещенным виоларитом, обнаружены Ni-меренскиит, Sb-майченерит, Pd-мелонит, сперрилит [2]. ΣPGE в скважинах западной полосы в хлорит-гальк-тремолитовых сланцах составляет 0.13–1.29 г/т [7]. В зонах вкрапленно-прожилковой переотложенной во вмещающие толщи (С-1-3) Cu-Ni-сульфидной минерализации установлены пирит, пирротин, пентландит и виоларит (в сумме 10–30 %), Au – до 2.1 г/т. На стадии метаморфогенно-метасоматических преобразований коматииты восточной ветви участка полностью преобразованы в хлорит-карбонат-гальковые сланцы и листвениты. Ni и Co в процессе лиственитизации интенсивно мигрировали и переотлагались в новообразованных ассоциациях руд, содержащих золото: в фазах глаукодот-кобальтин-герсдорфит, ульманнит-вольфрахит, мелонит-Pd-мелонит [1, 2].

Хромитовые руды приурочены к интрузивному телу в южной части Рыбозерской структуры, где установлено рудоправление Ладвозерское (Рыбозерское Ст). Среднее содержание Cr_2O_3 в нем составляет в 16 % (до 32.2 %), ресурсы оцениваются в 13 млн. т (по данным С.Н. Юдина за 1991 г.). Ультрабазиты и хромитовые руды скважины С-9 содержат повышенные концентрации Ni 0.1-0.3 %, Co 100-386 ppm, Cu 260, $\Sigma\text{PGE}=0.1-0.31$, Au 0.15-0.19 ppm. В хромитовых рудах, кроме хромшпинелидов и магнетита, встречаются пентландит, никелин, в оталькованных породах – более поздние Ni-Co-сульфиды (миллерит, полидимит). Установлены и более высокотемпературные платиноиды, такие как лаурит (Ru 48.39-48.91 %, Rh 2.56-2/1 %, Os 7.33-7.43 %, Ir 5.41-5.53 %, S 36-36.3 %), ирарсит, холлингвортит, сперриллит, мончеит, платина, стибнопалладинит [3].

Маткалахтинский ЗП заложился по зоне ССВ раскола в центральной части Водлозерского блока среди гранитогнейсов. В его строении установлены мощные покровы коматиитов, среди которых обнаружена лишь одна маломощная прожилковая зона с содержанием Ni 2.41 %, Cu 0.11, Co 0.18 % (проявление Верхний Рогой, [5]).

Из приведенного обзора видно, что небольшие Cu-Ni-рудные объекты Карелии по своим ресурсам значительно уступают докембрийским месторождениям Австралии и Канады [6]. Однако в общем анализе эволюции процессов мантийного рудообразования в раннем докембрии Карелии они представляют несомненный интерес и, в целом, вносят вклад в общий металлогенический потенциал региона. Работа выполняется в рамках тем НИР ИГ КарНЦ РАН (2018-2022).

Литература

1. Кулешевич Л.В. Золотоносность Южно-Выгозерского зеленокаменного пояса (Восточная Карелия) // Отечественная геология. 2005. № 2. С. 38-46.
2. Кулешевич Л.В. Золоторудное месторождение Рыбозеро в Южно-Выгозерском зеленокаменном поясе (Восточная Карелия) // Геология и полезные ископаемые Карелии. № 16. Петрозаводск. 2013. С. 89-101.
3. Кулешевич Л.В. Платиноиды в сульфидно-медно-никелевых и хромитовых рудах ультрабазитов архейских зеленокаменных поясов Карелии // «Петрография магматических и метаморфических горных пород». Петрозаводск. 2015. С. 438-441.
4. Кулешевич Л.В., Слюсарев В.Д., Лавров М.М. Благороднометалльная минерализация Хаутавааро-Ведлозерской площади // Геология и полезные ископаемые Карелии. № 12. 2009. С. 12-25.
5. Минерально-сырьевая база Р. Карелия // Михайлов В.П. и др. Кн. 1. 2005. 278 с.
6. Петров О.В., Гурская Л.И., Феоктистов В.П. Металлогения никеля и перспективы развития его сырьевой базы в России // Региональная геология и металлогения. № 54. 2013. С. 64-74.
7. Слюсарев В.Д., Голубев А.И. Элементы платиновой группы в породах Южно-Выгозерского зеленокаменного пояса // Геология и полезные ископаемые Карелии. № 6. Петрозаводск. 2003. С. 12-25.
8. Турченко С.И. Особенности формирования сульфидно-никелевых и платиноносных (Ni-МПГ) руд в архейских провинциях // Региональная геология и металлогения. № 66. 2012. С. 91-94.