

получать при выполнении конкретных задач результаты, сопоставимые с результатами интеллектуальной деятельности человека. Аналогичный подход уже используется для экспрессной оценки новых рудопроявлений золота в Арктической зоне России [Чижова и др., 2019].

Таким образом, на основе формализованных (количественно оцененных) факторов россыпеобразования, методами численного компьютерного моделирования и ГИС-технологий создана численная система расчета и позиционирования мультипликативных показателей, оценивающих потенциал россыпной редкометалльной металлоносности. На «полигоне моделирования» с уже известными месторождениями и россыпепроявлениями в пределах «эталонной» выборки данных формализованные показатели выделяются и оцифровываются, верифицируются на «тестовой» выборке, и в случае подтверждения ее адекватности система может быть использована для прогнозирования россыпного потенциала на площадях, сходных по геолого-структурным и металлогеническим характеристикам с полигоном моделирования. Метод получил подтверждение на участке Сергиваньский. Создаваемая система позволяет собирать, хранить, обрабатывать и визуализировать данные на всех этапах процесса создания прогнозных оценок. Система не требует специализированных данных и использует данные стандартных геологических отчетов и картографические материалы. Применение методики основано на стандартных алгоритмах и не требует от оператора высокой квалификации и обширного геологического опыта.

*Работы проведены в рамках государственного задания по программе № 0136-2019-0006.*

### Литература

Козарко Л.Н. Проблемы генезиса гигантских редкометалльных месторождений Кольского полуострова // Российская Арктика: геологическая история, минерагения, экология. СПб: ВНИИОкеангеология, 2002. С. 773–787.

Лаломов А.В., Григорьева А.В., Бочнева А.А., Магазина Л.О., Чефранов Р.М. Редкометалльные россыпи Ловозерского массива // Разведка и охрана недр. 2019. № 1. С. 51–56.

Лаломов А.В., Чефранов Р.М. Разработка метода прогнозирования потенциала россыпей на основе формализации факторов россыпеобразования на базе лопаритовых россыпей Ловозерского массива // Арктика: экология и экономика. 2020. № 4 (40). С. 54–65.

Указ президента Российской Федерации от 01.12.2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» [Электронный ресурс]. 2016. <http://www.kremlin.ru/acts/bank/41449> (дата обращения 08.02.2021).

Чижова И.А., Лобанов К.В., Волков А.В. Логико-информационные модели для прогноза и оценки новых месторождений золота в Арктической зоне России // Арктика: экология и экономика. 2019. № 4(36). С. 107–117.

*Д.М. Вурмс<sup>1</sup>, Е.В. Кислов<sup>1,2</sup>*

<sup>1</sup> – Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ  
*vurms@list.ru*

<sup>2</sup> – Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ

### **Сравнение состава хромшпинели хромитов Йоко-Довыренского расслоенного и Маринкина концентрически-зонального ультрамафит-мафитовых массивов (Северное Прибайкалье)**

Считается, что промышленные месторождения хромитовых руд образовались в магматическую фазу формирования гипербазитовых массивов. «Раннемагматические» хромититы образуют шпирсы вкрапленных руд в дунитах и пластообразные залежи массивных руд, счи-

тающиеся результатом гравитационной дифференциации расслоенных ультрамафит-мафитовых массивов. «Позднемагматические» хромититы – линзы и жилы с резкими контактами – связываются с остаточными рудоносными расплавами, богатыми летучими компонентами. Выделяются также элювиальные и делювиальные россыпи.

На наш взгляд, трудно представить формирование массивных хромититов за счет кристаллизационно-гравитационной дифференциации, которая, если происходит, может дать не более 5 % хромшпинели, как и хромитовый расплав. Офиолитовые гипербазиты по определению не кристаллизовались из магмы. Зачастую к немагматическим относят и ядра концентрически-зональных массивов. Тем не менее, многие исследователи некритически интерпретируют вещественные характеристики хромититов, исходя из магматических парадигм. В связи с этим изучены хромититы верхнепротерозойских дунит-троктолит-габбровых интрузивов Йоко-Довыренский и Маринкин в Северном Прибайкалье. В хромититах Маринкина массива встречается «чистая» шпинель, резко отличающаяся от хромшпинели [Кислов и др., 2019; Kislov et al., 2020] и поэтому не использовавшаяся в сравнении.

*Маринкин массив* находится в бассейне руч. Маринкин в правом борту р. Тулдунь (левый приток р. Витим) выше устья р. Ирокинда. Вдоль длинной оси северо-западного направления (320–330°) плутон прослеживается на 5.5 км; максимальная ширина в северо-западной части 4 км, в средней – 2 км, площадь – 11 км<sup>2</sup>. Массив концентрически-зональный. Дуниты и плагиодуниты слагают ядро в форме эллипса площадью 2 км<sup>2</sup>. По ним местами развиваются серпентиниты и серпентин-актинолитовые породы. Габбро и троктолиты практически повсеместно замещены цоизитовыми, цоизит- и сосюрит-актинолитовыми породами. Ультраосновные и основные породы связаны взаимными переходами и считаются внутрикамерными дифференциатами.

Нами изучены дуниты с повышенной вкрапленностью хромшпинели. Это массивные неоднороднозернистые породы с бластопорфировой или гранулярной структурой. Хромититы обнаружены на вершине гольца, что необычно для такого оруденения, для которого более характерно нахождение в придонных частях интрузивов. Широко развиты первичные флюидсодержащие минералы. Идиоморфные включения хлорита в хромшпинели показывают, что зерна последней формировались путем собирательной перекристаллизации. Необычны реликтовый серпентин и незначительная серпентинизация, немагматический состав включений в хромшпинели, оливине и сульфидах интерстициального парагенезиса, неоднородный состав оливина и хромшпинели, клавишное погасание и ламелли в оливине, идиоморфность хлорита, развитие изометричного магнетита без Ti. Особенности Маринкина массива свидетельствуют о многократной перекристаллизации при изменении геологических и термодинамических условий и значительном термальном и флюидном воздействии поздних гранитов. В результате ультраосновные породы были регенерированы, а основные – изменены. Хромитовое оруденение сформировалось в процессе регенерации дунитов [Кислов и др., 2019; Kislov et al., 2020].

Расслоенный *Йоко-Довыренский массив* представляет собой линзовидное тело 26 × 3.5 км, залегающее субсогласно карбонатно-терригенных (преимущественно черносланцевых) толщ Сыннырского рифта в 80 км севернее озера Байкал. Входит в состав Сыннырско-Довыренского вулканоплутонического комплекса. Особенность плутона – большое число ксенолитов вмещающих пород, превращенных в магнезиальные, известково-магнезиальные скарны и роговики. Размеры ксенолитов варьируют от первых сантиметров до 100–150 м. Большинство апокарбонатных магнезиальных скарнов залегает в верхней части дунитового горизонта, формируя слой, субсогласный со структурой массива [Кислов, 1998].

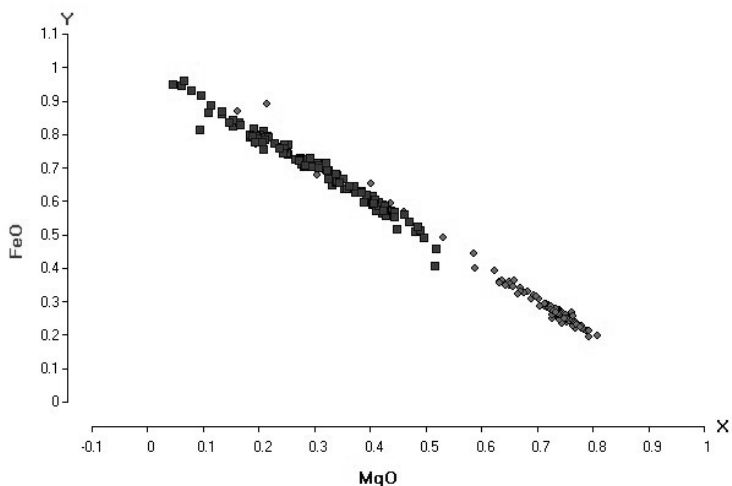


Рис. 1. Отношение FeO (мас. %) к MgO (мас. %) хромшпинелей Маринкина (квадраты) и Йоко-Довыренского (ромбы) массивов.

Хромититы – чаще всего шпировидные сегрегации хромшпинели до 0.5–1.0 м в длину и 10–20 см в ширину, состоящие на 40–60 % из идиоморфной хромшпинели. Реже отмечаются жилки массивных хромититов до 2 см мощностью. Породообразующие минералы отличаются по составу от минералов других пород массива. Выявлено большое количество флюидсодержащих первичных минералов, минералов метасоматического парагенезиса. Сделан вывод, что хромититы представляют собой высокохромистые эндоскарны магматического этапа [Кислов и др., 2020; Kislov, Khydyakova, 2020].

Основная часть хромшпинели хромититов Маринкина массива характеризуется железистостью  $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$  от 0.4 до 0.95, Йоко-Довыренского – 0.2–0.4, выше только у явно позднего хроммагнетита (рис. 1). Хромистость  $\text{Cr}_2\text{O}_3/(\text{Cr}_2\text{O}_3+\text{Fe}_2\text{O}_3+\text{Al}_2\text{O}_3)$  хромшпинели хромититов Маринкина массива составляет 0.3–1.3, Йоко-Довыренского – 0.02–0.90 (рис. 2).

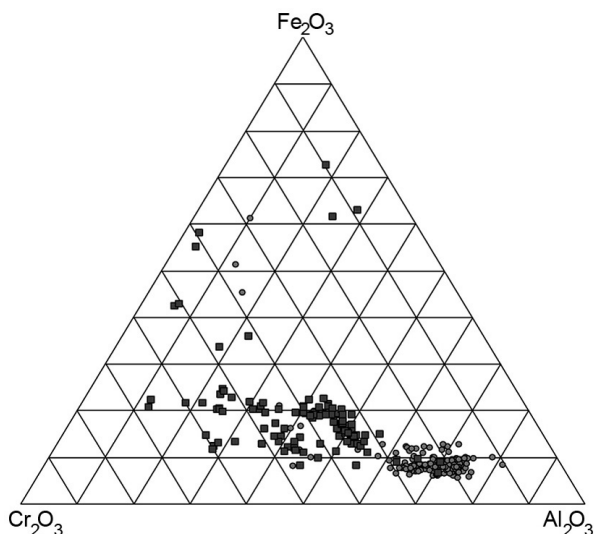


Рис. 2. Тройная диаграмма  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ – $\text{Fe}_2\text{O}_3$ – $\text{Al}_2\text{O}_3$  (мас. %) хромшпинелей Маринкина (квадраты) и Йоко-Довыренского (кружки) массивов.

Ранее хромшпинель хромитов Йоко-Довыренского массива описывалась как пикотит и хромпикотит с преобладанием Al над Cr [Пушкарев и др., 2003]. Хромшпинель Маринкина массива по такой классификации должна быть преимущественно алюмохромитом до хромпикотита. В соответствии с современной классификацией [Bosi et al., 2019] хромшпинель Маринкина массива должна быть отнесена к хромит-герцититу  $(\text{Fe}_{0.4-0.95}\text{Mg}_{0.05-0.6})(\text{Al}_{0.3-1.3}\text{Cr}_{0.3-1.3}\text{Fe}_{0.2-1.3})\text{O}_4$ , а Йоко-Довыренского – к шпинели  $(\text{Mg}_{0.6-0.8}\text{Fe}_{0.2-0.4})(\text{Al}_{0.2-1.2}\text{Cr}_{0.02-0.9}\text{Fe}_{0.1-0.4})\text{O}_4$ .

Таким образом, хромититы пространственно, вещественно и геохронологически близких массивов резко отличаются друг от друга. При этом Йоко-Довыренский расслоенный интрузив рифтогенный, его хромититы – высокохромистые эндоскарны магматического этапа [Кислов и др., 2020; Kislov, Khudyakova, 2020]. Маринкин путон концентрически-зональный островодужный, его хромититы метаморфогенные, сформировались при регенерации дунитов [Пушкарев и др., 2003; Кислов и др., 2019; Kislov et al., 2020]. Различие в генезисе определяет значительную разницу как в составе хромшпинели, как и в наборе парагенетических минералов.

*Работа выполнена в рамках НИР «Рудообразующие системы разновозрастных складчатых поясов южного обрамления Сибирского кратона: геолого-генетические модели месторождений благородных, редких и цветных металлов» (№ гос. рег. АААА-А21-121011390003-9) при финансовой поддержке РФФИ (проект № 19-05-00337) с использованием оборудования ЦКП «Аналитический центр минералого-геохимических и изотопных исследований» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ).*

## Литература

- Кислов Е.В. Йоко-Довыренский расслоенный массив. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 1998. 265 с.
- Кислов Е.В., Каменецкий В.С., Вантеев В.В. Йоко-Довыренский массив, Северное Прибайкалье: хромититы метасоматического происхождения // Металлогения древних и современных океанов–2020. Критические металлы в рудообразующих системах. Миасс: Южно-Уральский федеральный научный центр минералогии и геоэкологии УрО РАН, 2020. С. 53–56.
- Кислов Е.В., Каменецкий В.С., Малышев А.В., Вантеев В.В. Маринкин ультрамафит-мафитовый массив (Средне-Витимская горная страна): специфика образования оруденения // Металлогения древних и современных океанов–2019. Четверть века в изучении субмаринных месторождений. Миасс/Екатеринбург: ООО «Форт-Диалог-Исеть», 2019. С. 79–83.
- Пушкарев Е.В., Вотяков С.Л., Чаушхин И.С., Кислов Е.В., Щапова Ю.В., Галахова О.Л. Рудные хромшпинелиды Йоко-Довыренского расслоенного массива (Северное Прибайкалье): состав, особенности структуры и условия образования // Ежегодник-2002. ИГГ УрО РАН, 2003. С. 215–223.
- Bosi F., Biagioni C., Pasero M. Nomenclature and classification of the spinel supergroup // European Journal of Mineralogy. 2019. Vol. 31. P. 183–192.
- Kislov E.V., Khudyakova L.I. Yoko-Dovyren layered massif: composition, mineralization, overburden and dump rock utilization // Minerals. 2020. Vol. 10. 682.
- Kislov E.V., Kamenetsky V.S., Malyshev A.V., Vanteev V.V. Concentrically-zoned mafic-ultramafic Marinkin massif, Middle Vitim Highland, Baikal region, Russia: inclusions in chrome spinel – key to mineral formation processes // Minerals: Structure, Properties, Methods of Investigation. Proceedings of the 10th All-Russian Youth Scientific Conference (S. Votyakov, D. Kiseleva, V. Grokhovsky, Yu. Shchapova, Eds.). Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. 2020. P. 111–118.