

Работа выполнена за счет средств гранта Президента РФ (проект № МК-857.2021.1.5) и при частичной финансовой поддержке государственного задания ИГ УФИЦ РАН (тема № 0246-2019-0080).

Литература

Казанцева Т.Т., Камалетдинов М.А., Гафаров Р.А. Об аллохтонном залегании гипербазитовых массивов Крака на Южном Урале // Геотектоника. 1971. № 1. С. 96–102.

Князев Ю.Г. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:1000000 листа N-40 (третье поколение). СПб: ВСЕГЕИ, 2011.

Кудаярова А.Р., Рыкус М.В., Душин А.С. Седиментационные модели и промысловые свойства верхнетурнейских карбонатных отложений Южно-Татарского свода платформенной Башкирии // Нефтегазовое дело. 2016. Т. 14. № 1. С. 20–29.

Лаломов А.В., Рахимов И.Р., Григорьева А.В., Зайлямов Ш.Р. Хромиконосность пермско-юрских отложений Волго-Уральского бассейна // Проблемы минералогии, петрографии и металлогении. Науч. чт. пам. П.Н. Чирвинского: сб. науч. статей. Вып. 24. Пермь, 2021. С. 113–119.

Рахимов И.Р., Савельев Д.Е., Холоднов В.В., Замятин Д.А. Уникальная Сабантуйская хромитовая палеороссыпь в осадочном чехле Восточно-Европейской платформы // Геология рудных месторождений. 2020. Т. 62. № 6. С. 568–573.

Салихов Д.Н., Масленников В.В., Серавкин И.Б., Беликова Г.И., Галиуллин Б.Г., Никонов В.Н. Полезные ископаемые Республики Башкортостан (руды меди, цинка, свинца). Уфа: Гилем, 2010. 376 с.

Синицын И.М., Синицына Г.И. Объяснительная записка к геологической карте СССР масштаба 1:200000, Лист № 40-XXVI. Т. 1. Уфа: БТГУ, 1965. 170 л.

Систематика и классификация осадочных пород и их аналогов / *Шванов В.Н., Фролов В.Т., Сергеева Э.И. и др.* СПб: Недра, 1998. 352 с.

А.В. Лаломов, А.А. Бочнева

*Институт геологии рудных месторождений, петрографии,
минералогии и геохимии РАН, г. Москва
lalomov@mail.ru*

Численное прогнозирование потенциала россыпей на основе формализации факторов россыпеобразования на примере лопаритовых россыпей Ловозерского массива, Кольский полуостров

Редкие металлы (в число которых входят и редкоземельные) являются основой развития современных инновационных технологий. Прогнозирование месторождений редких металлов возможно только на основе комплексного анализа всей совокупности россыпеобразующих факторов, объединенных в геолого-генетических моделях месторождений, использующих количественные оценки. В условиях нерентабельности экстенсивного развития промышленной базы необходима разработка новых технологий для решения геологических задач. В число таких направлений входит «переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» [Указ..., 2016].

Для создания таких методик необходимо детально проанализировать данные по эволюции россыпеобразующих формаций в различных литогенетических, вещественных, геолого-

структурных и литодинамических системах, а также конкретизировать, формализовать и ранжировать факторы россыпеобразования. На основе формализованных (количественно оцененных) факторов методами численного компьютерного моделирования и ГИС-технологий создается система пространственно привязанных мультипликативных показателей, оценивающих потенциал россыпной металлоносности. Полученные результаты используются для создания методики прогнозной оценки россыпной металлоносности на закрытых и малоисследованных территориях. В качестве объекта исследований для разработки моделей редкометалльных россыпей ближнего сноса использованы россыпи лопарита северной периферии Ловозерского массива.

Ловозерский массив, относящийся к позднедевонскому комплексу щелочных и нефелиновых сиенитов, вмещает несколько рудных горизонтов уртитов, содержащих промышленные концентрации лопарита, который представляет собой высококомплексное редкометалльное сырье, содержащее (%) Nb_2O_5 8.3, Ta_2O_5 0.67, TiO_2 39.8, ΣREE_2O_3 34.9 [Когарко, 2002].

За счет эрозионных процессов на периферии массива образовались лопаритовые россыпи, промышленная значимость которых установлена по северной периферии плутона в пределах Ревдинского россыпного поля (Шомиокский, Ревдинский и Сергеваньский участки). Местоположение россыпей контролируется участками максимального вскрытия лопаритоносных пород дифференцированного комплекса (ледниковыми карами и долинами, поставившими фрагментированный обломочный материал в зону предгорий) и элементами рельефа, благоприятными для накопления лопарита – локальными депрессиями коренного ложа [Лаломов и др., 2019].

В пределах Ревдинского россыпного поля был выбран полигон моделирования, включающий эталонный (Шомиокский) и тестовый (Сергеваньский) участки (рис. 1). В пределах полигона по сети 500×500 м создана цифровая модель рельефа и база данных, в которую для каждой элементарной ячейки внесены формализованные россыпеконтролирующие факторы: фациально-стратиграфический (ФС), локального тектонического режима (ТР), эрозионно-аккумулятивного состояния (ЭАС) и энергии рельефа (ЭР). На основании корреляционного анализа на эталонном участке разработан мультипликативный показатель (МП) – объединенный параметр, оценивающий перспективы россыпной металлоносности. Его верификация проведена на тестовом участке [Лаломов, Чефранов, 2020].

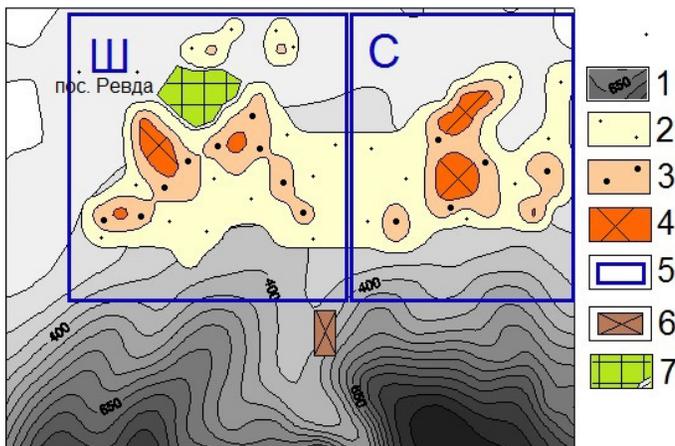


Рис. 1. Ревдинское россыпное поле и полигон моделирования.

1 – высотные отметки рельефа; 2–4 – содержания лопарита в россыпи ($кг/м^3$): 2 – 2–4, 3 – 4–6, 4 – более 6; 5 – границы участков: Ш – эталонный Шомиокский, С – тестовый Сергеваньский; 6 – обогатительная фабрика Карнасург; 7 – населенный пункт (пос. Ревда).

Коэффициенты корреляции (R) между содержаниями лопарита и формализованными показателями россыпной металлоносности для эталонного Шомиокского участка

	Факторы россыпеобразования				МП _{эт}
	ФС	ТР	ЭАС	ЭР	
R	0.54	0.46	0.23	-0.26	0.57

Примечание. МП_{эт} – рассчитанный мультипликативный показатель для эталонного участка. Критическое значение $R = 0.18$ при объеме выборки $N = 184$ и доверительной вероятности $\alpha = 0.99$.

Для создания обобщенных прогнозных характеристик на данных эталонного объекта (Шомиокский участок) построена матрица парных коэффициентов корреляции между факторами и содержаниями в россыпи лопарита. Факторы ФС, ТР и ЭАС находятся в положительной корреляции с содержанием в россыпи лопарита, ЭР – в отрицательной.

В нашем случае МП для каждой элементарной ячейки i (МП_{*i*}) по формуле (1) рассчитан как произведение значений факторов для этой ячейки, имеющих положительную корреляцию с содержанием лопарита, деленное на значение фактора с отрицательной корреляцией: $МП_i = (ФС_i \times ТР_i \times ЭАС_i) / ЭР_i$ (1). Коэффициент корреляции МП с содержанием лопарита на эталонном участке ($R = 0.57$) является значимым для данной выборки (табл.), что позволяет использовать его в качестве критерия выделения площадей для поисков проявлений редкометалльных россыпей ближнего сноса.

Верификация предлагаемого алгоритма прогнозирования проведена на тестовом Сергиванском участке, для которого на ГИС-основе рассчитан массив пространственно привязанных мультипликативных показателей (МП-тест). Коэффициент корреляции рассчитанных значений МП-тест с содержаниями лопарита в россыпи, полученными по разведочным данным, $R = 0.55$ (рис. 2). Это показывает возможность использования предлагаемой методики и расчетных мультипликативных показателей для прогнозирования редкометалльных россыпей ближнего сноса для постановки поисковых работ.

Разрабатываемая методика основана на анализе механизма принятия экспертом решений по оценке россыпного потенциала площадей и предлагает комплекс технологических решений, позволяющих имитировать когнитивные функции человека, дающий возможность с использованием гибридной системы, работающей в режиме диалога «оператор – компьютер»,

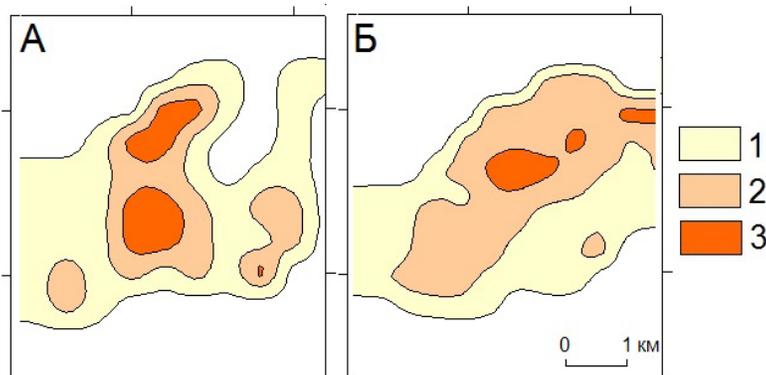


Рис. 2. Верификация методики прогнозирования редкометалльных россыпей на основе расчета мультипликативных показателей на Сергиванском участке: а – содержания лопарита в россыпи по данным геологоразведочных работ; б – расчетные значения по мультипликативным показателям. 1–3 – содержания лопарита в россыпи (кг/м³): 1 – 2–4, 2 – 4–6, 3 – более 6.

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. Вурмс¹, Е.В. Кислов^{1,2}

¹ – Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ
vurms@list.ru

² – 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-