

1.5.2. Тектоника и геодинамика

1.5.2.2. Литология; палеонтология, стратиграфия и геологическая корреляция

Крупенин М. Т., Червяковская М. В., Гуляева Т. Я.; совместно с Кузнецов А.Б. (ИГГД РАН, Санкт-Петербург)

Первое изучение Rb-Sr и Sm-Nd изотопной систематики гидротермально-метасоматических сидеритов крупнейшего в мире Бакальского месторождения, доказало, что рудный раствор был образован при длительном (более 400 млн лет) взаимодействии захороненных рассолов с терригенно-глинистыми породами осадочного рифейского бассейна. Источником железа для сидеритов были сами глинистые породы рифея. Данные Sm-Nd систематики подтверждают коровую природу флюида и отсутствие его связи с рифтогенным магматизмом в начале среднего рифея. Модель формирования докембрийских сидеритов на гренвильском этапе тектоно-термальной активизации (0.97 млрд лет) по Sm-Nd изотопным данным уточняет раннюю оценку возраста оруденения Pb-Pb методом (1.0 млрд лет). Выделенный возрастной рубеж связан с тектонической перестройкой в восточной окраине Балтики и оказал определяющее значение для формирования ряда стратиформных месторождений на Южном Урале.

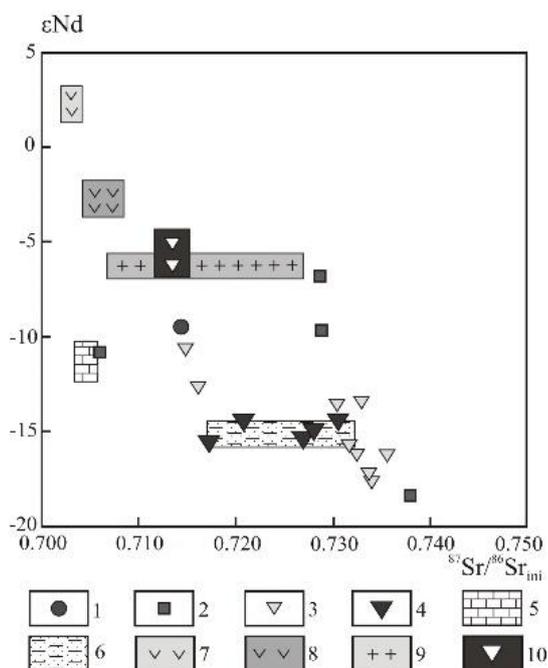


Рисунок 1. Сравнение $\epsilon_{Nd}(T)$ и первичного отношения $^{87}Sr/^{86}Sr$ в карбонатных породах Бакальского рудного поля с рифейскими осадочным известняками и глинистыми сланцами. 1 – известняк, 2 – доломиты, 3 – сидериты, 4 – сидериты центральной части рудного тела в Восточно-Буландыхинском карьере, 5 – осадочные известняки нижнего рифея, саткинская свита Южного Урала [Крупенин и др., 2016], 6 – глинистые сланцы бакальской свиты [Горохов и др., 1982; Маслов и др., 2003], 7 – габбро Бердяшского массива [Ларин, 2011], 8 – габбро Кусинско-Копанской интрузии [Холоднов и др., 2010], 9 – граниты-рапакиви Бердяшского массива [Ларин, 2011], 10 – жильные сидериты Атласских гор [Castorina, Masi, 2008].

Крупенин М. Т., Кузнецов А. Б., Червяковская М. В., Гуляева Т. Я., Константинова Г. В. (2021) Источник рудных флюидов и Sm-Nd возраст сидеритов крупнейшего Бакальского месторождения, Южный Урал. Геология рудных месторождений, 63(4), 334–363. [DOI:10.31857/S0016777021040043].

1.5.2.3. Структура и история формирования глобальных и региональных тектонических структур

Пучков В.Н., Иванов К.С., совместно с Эрнст Р.Э. (Карлтонский университет, г. Оттава, Канада)

Выполнен анализ истории плюмов /LIP Урала. Были выделены следующие события: Навышское событие, 1750 Ма, произошло одновременно с образованием магматических единиц в Сарматии и Карелии. Машакское событие, 1385 Ма, связанное с целой серией месторождений полезных ископаемых, пришлось на начало распада суперконтинента Нуна. Игонинское событие (720 млн лет) может быть скоррелировано с 720 Ма – LIPs в северной Лаврентии и других регионах. Кидрясовское (около 480 Ма) и Ушатское (450 Ма) события коррелируются по возрасту с событиями в Сибири. Тимаизское событие (370 Ма) принадлежит гораздо более крупной Кольско-Днепровской LIP. Магнитогорское (350-320 Ма) событие следует непосредственно за коллизией Магнитогорской островной дуги с пассивной окраиной Балтики и отрывом слэба. Описаны также три орогенетических/посторогенетических внутриплитных эпизода: Степнинский (285 Ма) монцогаббро-граносиенит-гранитный комплекс, Калымбаевский (308-304 Ма) лампроитовый комплекс и траппы, одновозрастные с Сибирскими и объединенные в Урало-Сибирскую LIP, образование которой породило пермское массовое вымирание организмов.

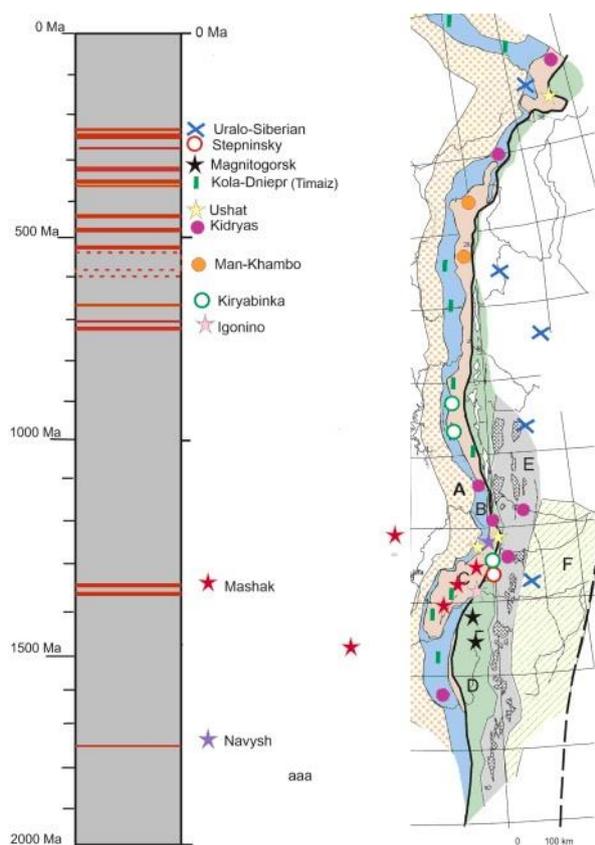


Рисунок 2. Штрих-кодовая диаграмма плюмов/LIPs для Урала (слева) и расположение плюмовых магматических проявлений на площади (справа).

Puchkov V.N., Ernst R.E., Ivanov K.S. The importance and difficulties of identifying mantle plumes in orogenic belts: An example based on the fragmented large igneous province (LIP) record in the Ural fold belt // Precambrian Research. 2021. V. 361. 106186. [DOI: 10.1016/j.precamres.2021.106186]

1.5.3. Минералогия и петрология

1.5.3.1. Магматические, метаморфические и минералообразующие системы и их эволюция

Рахимов И.Р., Пушкарев Е.В., Готтман И.А.

На основе полученных статистических данных о составе хромшпинелидов, слагающих до 30-35 об. % в песчаниках казанского яруса среднепермского возраста (район д. Федоровка, Башкортостан), показано, что главным источников хромитов послужили перидотиты и хромитовые руды офиолитовых комплексов уральского складчатого пояса. Широкое распространение хромитоносных осадков, установленное на данном стратиграфическом уровне, служит основанием для проведения детальныи поисково-оценочных работ на выявление хромитовых палеороссыпей, источником которых являются ультраосновные породы Урала.

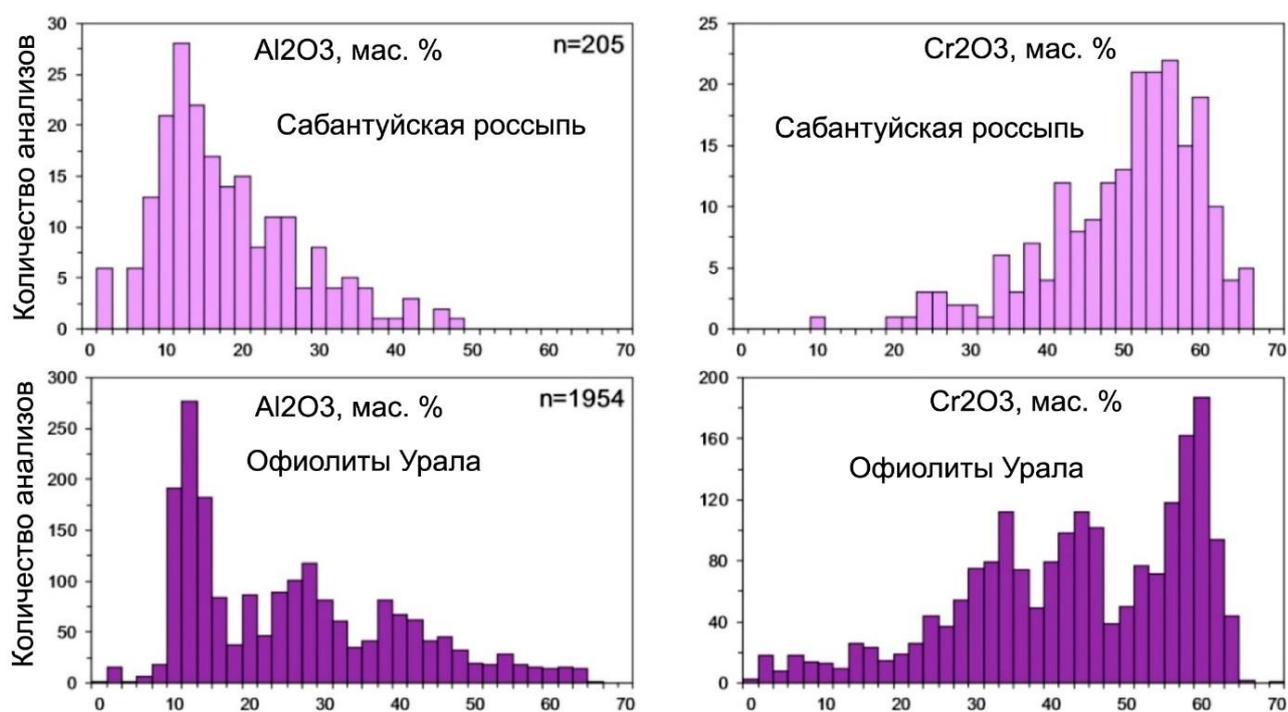


Рисунок 3. Гистограммы распределения Al₂O₃ и Cr₂O₃ в хромшпинелидах из Сабантуйской палеороссыпи (Башкортостан) и из офиолитовых комплексов Урала

Rakhimov I.R., Pushkarev E.V., Gottman I.A. (2021) Chromite paleoplacer in the Permian sediments at the east edge of the East European Platform: composition and potential sources. Minerals, 11, 691. [DOI: 10.3390/min11070691]

Холоднов В.В., Шагалов Е.С., Каллистов Г.А., Шардакова Г.Ю., Салихов Д.Н., Коновалова Е.В.

Прослежена эволюция магматизма Ахуново-Петропавловского ареала на Южном Урале, сформированного в результате последовательного внедрения Петропавловской, Ахуновской, Карагайской и Уйскоборской гранитоидных интрузий в возрастном интервале 347-304 млн лет. Породы Петропавловского массива соответствуют надсубдукционным сериям и имеют Cu и Au специализацию. Уйскоборский массив, богатый редкими элементами, сформирован при постколлизийных трансформных движениях из обогащенного мантийного источника, с участием вещества коры. Полученные данные позволяют рассматривать Ахуново-Петропавловский ареал, как эндогенный центр длительного мантийно-корового взаимодействия.

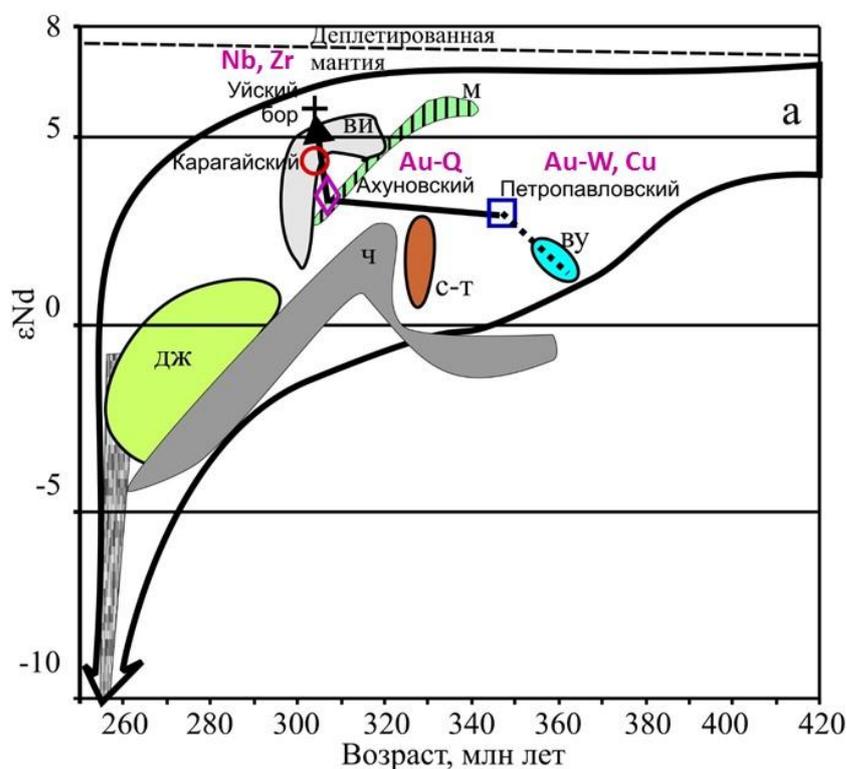


Рисунок 4. Диаграмма ϵNd - возраст для интрузий Ахуново-Петропавловского ареала. Поле, оконтуренное толстыми линиями со стрелкой, характеризует эволюцию ϵNd в надсубдукционных и коллизийных интрузивных комплексах Среднего и Южного Урала (440-250 млн лет). Поля: М – Магнитогорская группа массивов; ВИ – Верх-Исетский массив; Ч – Челябинский массив; С-Т – Сыростанско-Тургойская группа; Дж – Джабыкский комплекс; ВУ – Верхнеуральский массив. Индексами элементов отмечен тип металлогенической специализации магматитов.

1.5.3.3. Поиск новых природных минералов; синтез новых минеральных фаз; исследование их структуры и свойств

Холоднов В.В., Шагалов Е.С., Каллистов Г.А., Шардакова Г.Ю., Салихов Д.Н., Коновалова Е.В. (2021) Ахуново-Петропавловский гранитоидный ареал как окраинно-континентальный центр длительного мантийно-корового взаимодействия: роль субдукционных и рифтогенно-плюмовых источников. Геология и геофизика, 62 (6), 800-820. [DOI: 10.15372/GiG2020155]

1.5.3.3. Поиск новых природных минералов; синтез новых минеральных фаз; исследование их структуры и свойств

Панкрушина Е.А., Вотяков С.Л., Щапова Ю.В.

*Выполнено исследование монокристаллической пробы гипса (разновидность Марьино стекло, Карьинский массив) с использованием терморамановской *in situ* спектроскопии в диапазоне температур 80–870 К. Детальный анализ температурного поведения $\nu_1(\text{SO}_4)$ в монокристалле показал сосуществование фаз $\alpha\text{SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + \gamma\text{CaSO}_4$ (380–440 К) и $\gamma\text{-CaSO}_4 + \beta\text{-CaSO}_4$ (680–740 К), что объясняется фронтом движения реакции в твердом теле. Применение статистических методов для отдельных диапазонов спектра позволило выявить температурные различия предпереходных областей для отдельных мод или их групп. В частности, диапазон симметричных деформационных колебаний сульфат-ионов $\nu_2(\text{SO}_4)$ чувствителен к дегидратации и сопутствующему фазовому переходу при 410 К, начиная с более низких температур (380 К), чем другие диапазоны, что связано с исчезновением влияния водородной связи на при потере воды.

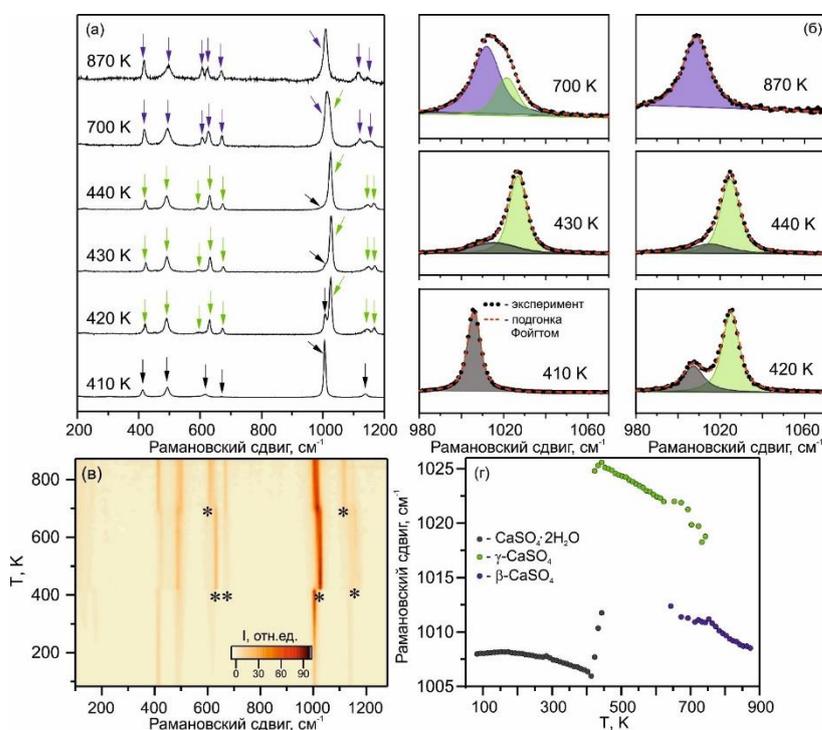


Рисунок 5. Рамановские спектры гипса Карьинского месторождения при 410, 420, 430, 440, 700, 870 К (а); спектральная деконволюция в соответствии с Фойгтом в спектральной области 980–1070 cm^{-1} (б); 2D-карты изменения температуры колебательных мод в спектрах рамановского рассеяния света (в); $\nu_1(\text{SO}_4)$ зависимость положения колебательной моды от температуры (г). Спектры получены с шагом 10 К и скоростью нагрева 25 К / с; звездочки (в) – появление новых спектральных мод. Черные точки - экспериментальный контур, красная пунктирная линия - подгонка Фойгтом (б); чёрные стрелки (а), черная подгонка Фойгтом (б), черная точка (г) соответствуют фазе $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, зеленая стрелка (а), зеленая подгонка Фойгтом (б), зеленая точка (г) соответствуют фазе γCaSO_4 соответствуют фазе; синяя стрелка (а), синяя подгонка Фойгтом (б), синяя точка (г) – соответствуют фазе $\beta\text{-CaSO}_4$.

Pankrushina E. A., Votyakov S. L., Shchapova Y. V. (2021). Statistical approaches in the analysis of *in situ* thermo-Raman spectroscopic data for gypsum as a basis for studying dehydration and phase transformations in crystalline hydrates / *Journal of Raman Spectroscopy*, 52(4), 877–889. [DOI: 10.1002/jrs.6069]

1.5.5. Геология твердых полезных ископаемых

1.5.5.1. Закономерности образования и размещения твердых полезных ископаемых в различные периоды истории Земли)

Кисин А.Ю., Карасева Е.С., Мурзин В.В.

Геология Полдневского месторождения демантоида обусловлена декомпрессионным разуплотнением ультрабазитов при подъеме корово-мантийной смеси в зоне Главного Уральского разлома на коллизионном этапе. Минералообразование синдекомпрессионное, многостадийное. Форма тел столбообразная. Образование демантоида проходило в условиях декомпрессии. Включения типа «конский хвост» в уральских демантоидах, с 19 века считавшиеся биссолитом или хризотилом, оказались ростовыми полыми каналами, устья которых могут содержать сопутствующие минералы (серпентин, магнетит, карбонат). Появление полых каналов обусловлено сфероидальным ростом агрегатов демантоида в условиях декомпрессии. Исследования направлены на повышение эффективности геологоразведочных работ на коренные источники демантоида.

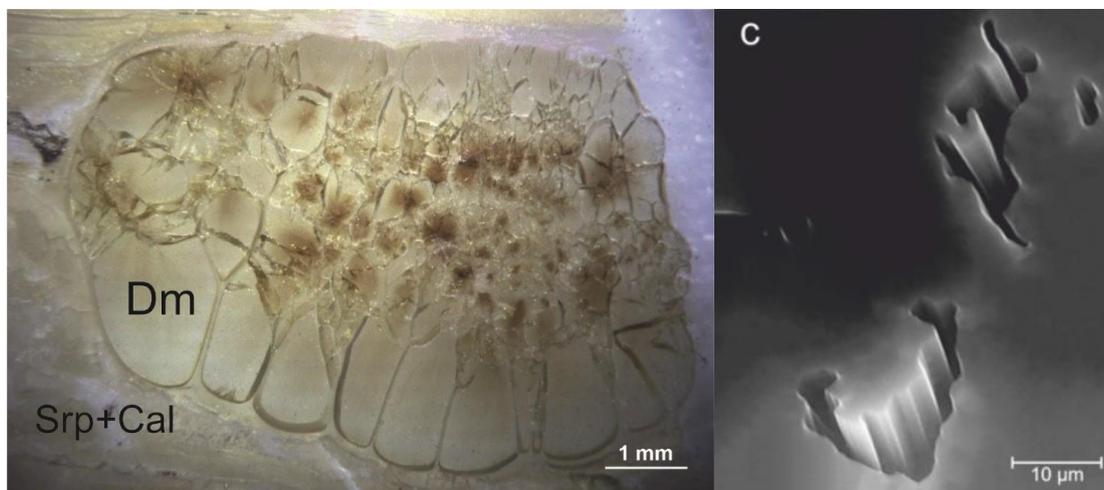


Рисунок 6. Агрегат демантоида (Dm) в серпентинит-кальцитовой жильной массе (Srp+Cal) (слева) и BSE-изображение выходов трубчатых включений на поверхность скола (справа)

Карасева Е.С., Кисин А.Ю., Мурзин В.В. Полдневское месторождение демантоида (Средний Урал): геология и минералогия. *Литосфера*. 2021. Т. 21. № 5. С. 681-696. [DOI:10.24930/1681-9004-2021-21-5-699-711]

Kissin A.Yu.; Murzin V.V.; Karaseva E.S. “Horsetail” Inclusions in the Ural Demantoids: Growth Formations. *Minerals*. 2021, Vol. 11, 8, 825. [DOI:10.3390/min11080825]

1.5.5. Геология твердых полезных ископаемых

1.5.5.1. Закономерности образования и размещения твердых полезных ископаемых в различные периоды истории Земли)

Недосекова И.Л.

Изучены факторы рудной специализации карбонатитовых комплексов Урала и Тимана, которые могут быть использованы для прогноза месторождений стратегических металлов в складчатых областях. Установлено, что различная рудная специализация (Nb и Nb-REE – для карбонатитов Урала, REE – для карбонатитов Тимана) определяется не только эволюцией карбонатитовых магм, но и неоднородностью их мантийных источников. Изотопные составы карбонатитовых комплексов Урала близки мантийным (плюмовым) источникам карбонатитовых комплексов внутриплитных обстановок – Балтийского кратона и Сибирской платформы, что определяет их Nb и REE-Nb специализацию. Карбонатиты Тимана показывают контаминированные мантийные изотопные составы и REE-специализацию, что характерно также для карбонатитовых комплексов и связанных с ними REE-месторождений Алтае-Саянской, Забайкальской, Тянь-Шанской, Гималайской складчатых областей.

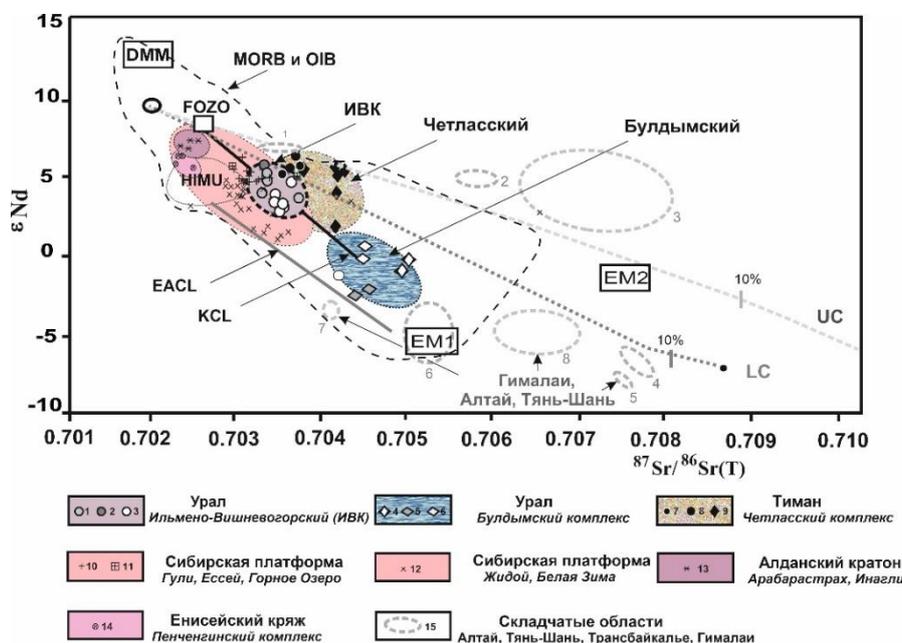


Рисунок 7. Диаграмма $\epsilon Nd - {}^{87}Sr/{}^{86}Sr(T)$ для карбонатитовых комплексов Урала и Тимана в сравнении с карбонатитовыми комплексами щитов и платформ – Балтийского и Алданского щитов, Сибирской платформы, Восточноафриканской провинции (EACL), и карбонатитовых комплексов складчатых областей – Алтая, Тянь-Шаня, Забайкалья, Гималаев.

Удлиненный пунктир – область изотопного состава мантии [Hofmann, 1997]. Кольская линия карбонатитов (KCL) [Kramm, 1993] и линия карбонатитов Восточной Африки (EACL) [Bell, Petersen, 1991]. Мантийные резервуары DMM, EM1, EM2, HIMU, FOZO даны в соответствии с их современными изотопными параметрами [Zindler, Hart, 1986; Hart et al, 1992, Stracke et al, 2005]. DM-LC и DM-UC – линии смешения деплетированной мантии с нижней корой и с морскими осадками, соответственно. 1-3: Ильмено-Вишневогорский комплекс (ИВК), Ю. Урал (Pz): 1 - миаскиты, 2 - сиениты, 3 - карбонатиты; 4-5: Булдымский комплекс, Ю. Урал: 4 - ультрабазиты, 5 - карбонатиты (сэвиты III), 6 - бейфорситы; 7-9: Четлаский комплекс, С. Тиман (V): 7 - карбонатиты, 8 - айликиты, 9 – пикриты, лампрофиры; 10-12: карбонатитовые комплексы Сибирской платформы: 10 - Гули, Ессей, Маймеча-Котуйская провинция (Pz); 11 – Горное озеро, Сетте-Дабан (Pz); 12 - Белая зима, Средняя зима, Жидой, Восточно-Саянская провинция (V); 13 - Арбарастрах, Инагли, Алданский щит (V), 14 - Пенченгинский, Енисейский кряж (Rf₃-V) [Kogarko et al, 2010; Kogarko, Zartman, 2011; Kogarko et al, 1999; Vladykin, 2005; Sazonov et al, 2007; Vrublevskii et al, 2019; Khromova et al, 2020]; 15 - карбонатитовые комплексы складчатых областей (1 - Эдельвейс, 2 - Верхнепетропавловский, Алтай (Pz); 3 - Хаэрлах, Байнкол и др (V) ; 4 - Матчайский, 5 - Дарай-Пиоз, Ю. Тянь-Шань (Mz); 6 - комплексы Забайкалья (Mz); 7 - Лое-Шилман, Пакистан (Kz); 8 - Маонюпинг, Личжуанг, Гималаи (Kz) [Vrublevsky et al, 2003, 2015, 2018, 2020; Hou et al, 2006, 2015; Hu et al, 2010; Doroshkevich et al, 2012].

Nedosekova I, Vladykin N, Udoratina O, Belyatsky B. (2021) Ore and Geochemical Specialization and Substance Sources of the Ural and Timan Carbonatite Complexes (Russia): Insights from Trace Element, Rb-Sr, and Sm-Nd Isotope Data. Minerals. 11(7):711. [DOI:10.3390/min11070711]

1.5.5. Геология твердых полезных ископаемых геодинамика

1.5.5.2. Металлогенические провинции, эпохи и рудные месторождения: от генетических моделей к прогнозу минеральных ресурсов

Малич К.Н.

На протяжении всей истории открытия и изучения Норильского рудного района велся непрерывный поиск надежных критериев прогноза платиноидно-медно-никелевых (ЭПГ-Cu-Ni) месторождений, связанных с ультрамафит-мафитовыми интрузивами. Главными из них являются глубинные, структурные, магматические, минералого-геохимические и литолого-стратиграфические критерии. Использование оригинальных подходов позволило предложить новые индикаторы прогноза месторождений стратегических видов минерального сырья. На основе сочетания изотопных составов осмия, серы и меди выявлены интрузивные тела с вкрапленными сульфидными рудами, обладающими параметрами рудного вещества, за счет которых были сформированы промышленные платиноидно-медно-никелевые месторождения (рисунок). Наиболее перспективными на обнаружение богатых ЭПГ-Cu-Ni руд являются Черногорский и Дюмталейский ультрамафит-мафитовые интрузивы (рисунок). Таким образом, апробирован новый критерий научного прогноза, позволяющий оценить перспективы выявления богатых сульфидных ЭПГ-Cu-Ni руд в слабоизученных рудоносных и потенциально рудоносных интрузивах Полярной Сибири.

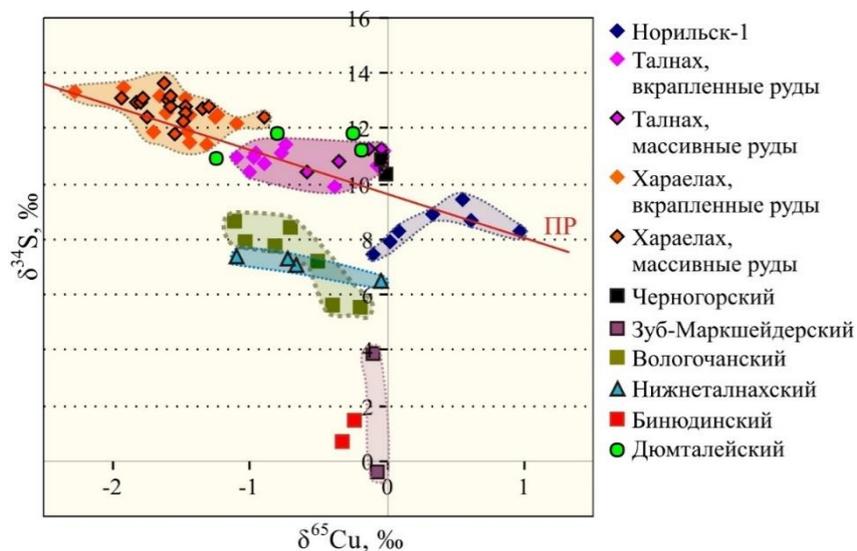


Рисунок 8. Вариации изотопного состава серы и меди в координатах $\delta^{34}\text{S}$ – $\delta^{65}\text{Cu}$ в сульфидной минерализации промышленно-рудоносных (Норильск-1, Талнахском, Хараелахском), рудоносных (Черногорском, Зуб-Маркшейдерском, Вологочанском), потенциально рудоносных (Бинюдинском, Дюмталейском) и слаборудоносных (Нижнеталнахском) интрузивов Полярной Сибири. ПР – тренд S-Cu изотопных составов промышленно-рудоносных интрузивов.

Malitch K.N. Forecasting criteria for sulphide PGE-copper-nickel deposits of the Noril'sk province / *Lithosphere (Russia)*. 2021. V. 21. № 5. P. 660–682 (in Eng.). [[DOI:10.24930/1681-9004-2021-21-5-660-682].

Малич К.Н. Критерии прогноза сульфидных платиноидно-медно-никелевых месторождений Норильской провинции / *Литосфера*. 2021. V. 21. № 5. С. 660–682 (англ.). [[DOI:10.24930/1681-9004-2021-21-5-660-682].