

**ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИНТЕГРАЦИОННЫМ ПРОЕКТАМ УРО, СО И ДВО РАН**

По интеграционному проекту **«Корреляция «зональных» платиноносных комплексов Северной Евразии и Северной Америки»** (руководитель со стороны УрО РАН д.г.-м.н. А.А. Ефимов), выполняемому совместно с Институтом тектоники и геофизики ДВО РАН, в 2005 г. рассмотрены вопросы химической и структурной эволюции «зональных» габбро-гипербазитовых комплексов Платиноносного пояса Урала. Получены важные данные, касающиеся роли химического, температурного и кислородного факторов в тектонометаморфической эволюции платиноносных дунитов, геохимии расслоенной дунит-пироксенит-тылаитовой серии (горячего меланжа), а также изотопного возраста наиболее поздних событий в истории Пояса.

Актуальность исследований по интеграционному проекту **«Строение и природа доюрского фундамента западно-сибирского нефтегазоносного мегабассейна (по результатам комплексных геолого-геофизических исследований)»** (руководители со стороны УрО РАН д.г.-м.н. К.С. Иванов и В.В. Кормилцев) определяется тем, что в пределах Западной Сибири сосредоточено около 80% запасов углеводородов России. Западно-Сибирский нефтегазоносный мегабассейн является (и еще достаточно долго будет оставаться) главным поставщиком углеводородного сырья – ос-

новы экономики страны. Понятно, что всестороннее изучение мегабассейна, интенсивно продолжающееся полвека, является и сейчас самой приоритетной задачей геологов и геофизиков России. Домезозойский комплекс в Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции, и, в первую очередь, зона дезинтеграции и выветривания поверхности палеозоя, является важнейшим перспективным объектом для выявления новых высокодебитных залежей нефти и газа [Конторович и др., 1980]. Структурный план и глубина залегания палеозойских отложений выявлены глубоким бурением, региональными и детальными сейсморазведочными работами. На многих площадях, в том числе в районах с развитой инфраструктурой нефтегазодобычи, они залегают на доступных для бурения глубинах. Перспективность резервуаров в выветрелой, дезинтегрированной части палеозойского комплекса доказана открытием большого числа месторождений. Однако в значительной степени они обязаны миграции нефтей из юрских отложений. Нефтегазогенерационный потенциал собственно палеозойских пород еще не до конца выяснен. За 2005 г. проведена значительная работа по обобщению фактических данных и получены существенные результаты.

В 2005 г. исследования осуществлялись по нескольким главным направлениям. Получены новые данные по тектонике фундамента

Западно-Сибирского мегабассейна. На основании комплексных геолого-геофизических исследований нами была составлена геологическая карта (масштаба 1:200000, с генерализацией до масштаба 1:500000) доюрского фундамента запада Западной Сибири (Шаимский район). При картировании выявлена система крупных региональных правых сдвигов западно-северо-западного простирания с амплитудой 6-16 км, вызывающих эшелонированные смещения главных структур региона. Сдвиги разбивают фундамент на ряд блоков, протяженностью около 40-50 км, причем каждый, более северный блок сдвинут на восток (и, нередко, опущен) относительно более южного. Проведенный анализ показывает, что эта система сдвигов была образована, в основном, в начале триаса (а отчасти – и позднее), вероятно, в результате того самого субширотного растяжения региона и опускания его северных частей, которое сформировало сначала систему триасовых грабенов Западной Сибири, заполняемых вулканогенными и терригенно-вулканогенными толщами, а затем и весь Западно-Сибирский нефтегазоносный мегабассейн. Выявленная система региональных правых сдвигов является, по всей видимости, одним из главных элементов формирования всей структуры региона.

Проведено обобщение геохронологических исследований фундамента Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна. В 50-летней истории изучения геохронологии фундамента Западно-Сибирского мегабассейна намечается два этапа, причем последний из них – этап изучения с использованием современных методов анализа – стартовал около 5 лет назад. Авторами проведены изотопно-геохронометрические исследования комплексов доюрского основания западной и центральной частей Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна с определениями возрастов пород K-Ar, Rb-Sr, Sm-Nd и U-Pb методами; последние три применены в Западной Сибири впервые. Получен ряд изохрон и изотопных характеристик, позволяющих судить как о генезисе и возрасте гранитных плутонов ряда площадей, так и об их последующих преобразованиях. K-Ar методом выявлены возраста наложенных тектоно-термальных событий, таких как выведение магматических и метаморфических комплексов на приповерхностный уровень и определение эпох тектонической активизации (в том числе связанных с нефтегенерацией).

Дана общая рекомендация использовать содержание  $K_2O = 0,4 \%$  в качестве граничного для разбраковки вулканитов на непригодные и, возможно, годные для K-Ag метода.

В рамках интеграционного проекта «**Контаминация ультраосновных и основных мантийных магм коровым веществом – фактор, контролирующий формирование некоторых типов месторождений хрома, меди, никеля и платиноидов**» (руководитель со стороны УрО РАН к.г.-м.н. Е.В.Пушкарев) в прошедшем году получены первые данные по изотопии кислорода, водорода и углерода в силикатах и карбонатах из магматических и сопровождающих их метасоматических пород, вмещающих сульфидную медно-никелевую, титаномагнетитовую и платиноидную минерализацию в габбро-ультрамафитовых массивах Среднего, Северного и Южного Урала. Для изучения контаминации магматических пород осадочным веществом и ее роли в процессах рудообразования нами также было проведено изучение стабильных изотопов в минералах из вмещающих метаморфических пород. Эти исследования проводились по договору между Институтом геологии и геохимии УрО РАН и Дальневосточным геологическим институтом ДВО РАН в лаборатории стабильных изотопов аналитического центра ДВГИ ДВО РАН. Полученные данные представляют несомненный интерес для выяснения процессов петрогенезиса и рудообразования и после соответствующей обработки станут основой для подготовки совместных публикаций.

Процессы контаминации основных и ультраосновных магм коровым веществом играют важную роль не только в петрогенезисе, но и в формировании сопутствующих этим породам месторождений меди, никеля и платиноидов. Лишь в самое последнее время были высказаны предположения о влиянии этих процессов также и на образование хромитовых сегрегаций. Эта проблема, в качестве одного из элементов более крупного исследования, была сформулирована нами при подготовке совместного проекта с учеными Геологического института СО РАН (Улан-Удэ). Идеальным объектом для такого изучения следует признать Йокондовыренский расслоенный ультрамафит-мафитовый массив в Северном Прибайкалье. В его ультрамафитовой (дунитовой) и, в меньшей степени, в габбровой зонах закартирован горизонт высокотемпературных магнезиальных и извест-

тково-магнезиальных скарнов, образование которых связывают с реакцией на магматическом этапе пикрито-базальтового расплава с доломитовыми ксенолитами. Процесс декарбонатизации мраморов или более сложных по составу карбонатно-алевролитовых пород приводит к интенсивному высвобождению  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и других летучих компонентов и, как следствие, к скачкообразному росту фугитивности кислорода и началу массовой кристаллизации разнообразных оксидных фаз. Ранее было установлено также, что кальцитовый компонент мраморов, характеризующийся наиболее низкой температурой плавления, ассимилируется пикрито-базальтовым расплавом, в результате чего изменяется химический состав слагающих эти породы минералов. Оливин становится более магнезиальным и кальциевым, хромшпинелид – более глиноземистым, клинопироксен обогащается кальций-чермакитовым компонентом и приближается по составу к фассаиту. Усиление роли кальция в контаминированном расплаве приводит к росту количества клинопироксена в породах и, как следствие, к смещению их состава в сторону верлитов и клинопироксенитов. Геохимическим признаком контаминированности пород массива коровым материалом является высокое начальное отношение изотопов стронция  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} > 0.710$  [Кислов, 1998].

При проведении полевых исследований в 2000 и 2005 гг. нами было установлено, что помимо хорошо известных магнезиальных скарнов с высокой долей Fe-Mg-Al шпинелидов, в зоне контаминированных ультрамафитов развиты крупнозернистые сегрегации хромшпинелидов, причем вне зоны скарнов хромититы встречены не были. В длину шпирсы достигают 1 м, а по мощности – до 20-30 см. В среднем, количество хромшпинелида в шпирсах составляет 30-40 % и они относятся к средне-, густовкрапленному типу. Зона развития хромитовых шпирсов приурочена к дунитам, залегающим между двумя крупными ксенолитами (длиной более 50 м) магнезиальных скарнов, а мощность зоны достигает 2 м. Изучение минералов из хромититов показало, что по составу они наиболее близки минералам контаминированных ультрамафитов и на вариационных линиях занимают промежуточное положение между минералами неконтаминированных дунитов и минералами магнезиальных скарнов. Это однозначно свидетельствует о том, что формирование хромититов связано с процессами контаминации пикрито-базаль-

товой магмы карбонатным веществом и образования магнезиальных скарнов. Проведенные нами расчеты температуры этого процесса соответствуют интервалу 1150-950 °С, что вполне укладывается в рамки субсолидусного остывания пород. Эти данные дополняют оценки температуры скарнообразования, выполненные другими исследователями на основе изучения минеральных ассоциаций, установленные в скарнах спуррит-мервинитовой фации и обнаружения периклаза.

Расчеты редокс-условий оливин-хромитового равновесия в контаминированных ультрамафитах и хромититах показало, что они формировались в условиях повышенной окисленности, превышающей буфер FMQ на 1-1,5 единицы логарифма, в то время как неконтаминированные карбонатным веществом дуниты соответствуют фугитивности кислорода на 1 единицу логарифма ниже этого буфера. Следовательно, различие в окислительных условиях формирования этих пород и хромититов достигает двух с половиной порядков. Еще на полтора-два порядка возрастает окисленность во время формирования оксидно-силикатной ассоциации магнезиальных скарнов. Таким образом, установлена резкая неравновесность в окислительно-восстановительных условиях формирования контаминированных ультрамафитов, связанных с ними хромититов и скарнов, с одной стороны, и неконтаминированных ультрамафитов, с другой. Есть все основания связывать кристаллизацию хромититов с возникновением геохимической зоны окислительного эксцесса вокруг ксенолитов доломитов, подвергшихся декарбонатизации и скарнированию. По сути, хромититы можно рассмотреть как своеобразные автореакционные высокохромистые скарны магматического этапа.

По интеграционному проекту «**Докембрийские осадочные последовательности Урала и Сибири: типы и характер источников сноса, долговременные вариации состава коры, проблема рециклинга**» (руководитель со стороны УрО РАН д.г.-м.н. А.В. Маслов) исследования в 2005 г. велись по ряду направлений: 1) ревизия имеющихся коллекций, подбор наиболее представительных проб глинистых сланцев и аргиллитов рифея и выполнение аналитических исследований (ICP-MS анализ, «мокрая» химия, РФ-анализ и т.д.); 2) составление банка аналитических данных; 3) анализ имеющихся и вновь полученных аналитических материалов; 4) обобщение результатов и подготовка статей.

В рамках работ по проекту проведена систематизация и анализ имеющейся в геологической литературе информации по геохимии терригенных осадочных последовательностей рифея Южного Урала, Енисейского кряжа и Учуро-Майского региона. Проанализирована база петрографических, петрохимических, геохимических и изотопных данных по глинистым сланцам и аргиллитам рифея. Сформирована коллекция эталонных проб по осадочным образованиям рифея Учуро-Майского и Енисейского кряжа.

Основные результаты могут быть сформулированы следующим образом. На примере наиболее полных разрезов позднего докембрия Северной Евразии (Башкирский мегантиклинорий и Учуро-Майский регион) на существенно более представительной, чем ранее, аналитической базе и с учетом методически надежных изотопных датировок в значительной степени уточнены особенности долговременных вариаций значений отношений Th/Sc, La/Sc, LREE/HREE и Eu/Eu\* в тонкозернистых терригенных осадках. Установлено, что только величина Eu/Eu\* в тонкозернистой силикокластике названных регионов практически тождественна ее оценке для постархейских осадочных пород мира. Три других из перечисленных выше параметров обнаруживают на протяжении рифея и венда ряд экскурсов в сторону меньших и больших значений, что, по всей видимости, связано с локальными изменениями состава питающих провинций, характера поступавшего с палеоводосборов материала и особенностями палеогеографии, палеоклимата и палеотектоники как зон размыва, так и областей осадконакопления. Это хорошо видно при сравнении данных С. Тейлора и С. МакЛеннана [1988] и наших материалов по величине отношения Th/Sc в интервале 1,65-0,54 млрд лет. Возможно, заметную роль в этом играло и прогрессирующее на протяжении позднего докембрия рециклирование осадочного материала.

Полученные нами данные позволяют предполагать, что изотопно-геохимические особенности тонкой силикокластики в указанных регионах на протяжении более 1,1 млрд лет позднедокембрийской истории контролировалась факторами, по преимуществу локальными. Внутрипозднедокембрийские глобальные или субглобальные факторы, с которыми было связано формирование гренвильских поясов (~1,3-0,9 млрд лет), спаявших воедино колоссальные массивы континентальной коры и

в составе которых доминировали как коровые, так и ювенильные мантийные породы [Семихатов и др., 2002], не оказали сколько-нибудь сильного влияния на изотопно-геохимические особенности глинистых пород осадочных последовательностей позднего докембрия двух эталонных районов развития рифея на территории Северной Евразии – Башкирского мегантиклинория и Учуро-Майского региона, однако в решающей степени определили закономерности изменения  $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$  в Гренвильском и пост-Гренвильском океане.

Выполнены исследования, направленные на реконструкцию основных геохимических ограничений архейских метатерригенных пород. Главный вывод состоит в том, что при рассмотрении имеющейся в нашем распоряжении совокупности частных данных оказалось невозможным наметить такие значения одного или нескольких параметров, которые можно было бы с очень высокой степенью достоверности (более 90-95 %) считать присущими только архейским или только постархейским тонкозернистым терригенным породам. В подавляющем большинстве рассмотренных нами случаев (в том числе и на таких, казалось бы надежных в смысле разграничения постархейских, с одной стороны, и поздне- и раннеархейских составов, с другой, диаграммах как Cr-Ni и La-Th [Тейлор, МакЛеннан, 1988] точки «среднего архейского аргиллита» и PAAS оказывались внутри поля точек частных составов метатерригенных пород архея. Если же снизить планку доверительного интервала примерно до 80-85 %, то можно видеть, что основная масса частных составов архейских метатерригенных пород характеризуется следующими геохимическими параметрами: 1) Th/Sc < 0,6-0,7; 2) Ce/Cr < 0,6; и 3) Eu/Eu\* > 0,70-0,75. Последнее свидетельствует, что в разрезах архейских метаморфизованных терригенных образований наряду с породами практически не содержащими отрицательной Eu аномалии, присутствует значительная доля осадков с достаточно хорошо выраженной Eu аномалией, хотя величина этой аномалии в большинстве случаев не столь велика, как это можно видеть в постархейских осадочных последовательностях.

Реконструированы основные особенности формирования осадочных толщ нижнего и среднего рифея Учуро-Майского региона и показано, что накопление их происходило преимущественно

щественно за счет размыва зрелой континентальной коры Сибирского кратона. Об этом свидетельствуют как геологические, так и геохимические данные, наиболее важное значение среди которых играют величины отношений Th/Sc и La/Sc в глинистых сланцах учурской, айманской и керпыльской серий, близкие к тем, что типичны для верхней континентальной коры (UCC), и сходные с PAAS значения Eu/Eu\*. Возможно, какую-то часть сиалического материала поставляли в бассейн и кислые магматические породы, локализованные к востоку от Учуро-Майского региона. Роль последних могла быть доминирующей в самом начале среднего рифея (во время формирования тонкозернистых терригенных образований талынской свиты). Предполагается, что примерно 1,5, 1,38 и 1,32 млрд лет назад на рассматриваемой нами территории имели место импульсы рифтогенеза, однако существенного влияния на геохимические особенности осадочных образований раннего и среднего рифея они, по всей видимости, не оказали, хотя привели к концу среднего рифея к некоторому снижению значений LREE/HREE, Th/Sc и La/Sc в глинистых сланцах.

Существенное значение в процессе исследований было уделено проблеме рециклинга осадочного материала. На примере осадочных последовательностей рифея Башкирского мегантиклинория с использованием комплекса литогеохимических подходов ранее было показано, что до 70-80 % терригенных пород имеют литогенную природу, т.е. слагающий их материал испытал перед окончательным захоронением не менее одного цикла переотложения [Маслов и др., 2005] и только при формировании ряда песчано-глинистых и конгломерато-песчано-глинистых последовательностей можно предполагать существенную роль в них «first cycle» материала. Информация о том, какова ситуация с соотношением литогенных и петрогенных пород в других областях развития отложений рифея, таких как, например, Енисейский кряж или Учуро-Майский регион, до настоящего времени в литературе практически отсутствует. Показано, что величина отношения  $K_2O/Al_2O_3$  снизу вверх по гипостратотипическому разрезу рифея демонстрирует отчетливую тенденцию к уменьшению, это позволяет предполагать существенное нарастание примерно с середины среднего рифея степени рециклирования поступавшей в бассейны седиментации тонкой алюмосиликокластики. С учетом крите-

риев Я.Э. Юдовича и М.П. Кетрис для распознавания петрогенных и литогенных образований, к несомненно петрогенным породам, т.е. породам с доминированием «first cycle» материала, в гипостратотипе рифея могут быть отнесены глинистые сланцы димского и талынского уровней. Возможно, условно к этой же категории могут быть отнесены глинистые сланцы трехгорной и усть-кирбинской свит. Таким образом, с определенной долей уверенности можно считать, что в составе глинистых сланцев нижнего и низов среднего рифея в Учуро-Майском регионе преобладает петрогенный компонент. В соответствие с этим, состав тонкозернистой алюмосиликокластики указанных уровней гипостратотипа рифея с достаточно большой степенью вероятности отражает условия, существовавшие на палеоводосборах.

В рамках исследований по интеграционному проекту «**Карбонатиты Урала. Уникальные рудоносные щелочные комплексы Сибири, Приморья и Урала: генезис, мантийные источники и влияние плюмовых процессов**» (координатор проекта С.В.Прибавкин) в 2005 г. проведены исследования петрогенезиса карбонатитов Ильмено-Вишневогорского щелочно-карбонатитового комплекса.

Впервые получены данные по изотопии Sr, Nd в карбонатах из кальцитовых, кальцит-доломитовых и доломитовых карбонатитов северной части комплекса, включающей рудные поля Вишневогорского и Булдымского месторождений ниобия. Пробы карбонатитов были отобраны в двух структурных этажах комплекса: в интрузивном (карбонатиты, залегающие в виде штокверков, дайковых тел в миаскитах корневой зоны Вишневогорского миаскитового массива, в его центральной и апикальной, в эндоконтакте с вмещающими фенитами, частях), и в надинтрузивном метаморфическом обрамлении щелочного массива, т.е. в фенитах и метаморфизованных гипербазитах Булдымского массива, залегающего среди фенитизированных плагиогнейсов. По составу карбонатиты подразделяются на кальцитовые, доломит-кальцитовые и доломитовые. Последние развиты в Булдымском массиве.

Кальцитовые карбонатиты в миаскитах соответствуют высокотемпературной фации ( $T > 500$  °C) и по сравнению с другими карбонатитами комплекса обладают высокими концентрациями Sr, Ba, минимальными – TR + Y и

пониженными отношениями Nb/Ta, Zr/Hf. Кальцит-доломитовые карбонатиты обрамления соответствуют более низкотемпературной фации ( $T = 500-300\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), однако близки по содержаниям Sr, Ba, но имеют повышенные концентрации Nb, TR + Y, Pb. Отношения Nb/Ta, Zr/Hf в них также повышены. Поздние доломитовые карбонатиты формировались при  $T = 300-200\text{ }^{\circ}\text{C}$  и отличаются высокими концентрациями Th, REE, высоким La/Yb отношением.

Карбонаты из карбонатитов относятся к кальцитам с небольшой примесью MgO (до 2 %) и доломитам. Они содержат примесь MnO (0,4-2,5 %), SrO (0,8-3,2 %), LREE (до 0,35 %).

Изотопные исследования карбонатов показали наличие двух ярко выраженных групп, различающихся по первичному отношению изотопов стронция. Первая группа характеризуется низкими величинами  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0,7035-0,7036$  и представлена кальцитом в карбонатитах, залегающих среди миаскитов. Вторая группа имеет повышенные первичные отношения  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i = 0,7044-0,7047$ , образована кальцитом и доломитом из карбонатитов обрамления миаскитового массива. На графике  $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_i$ -Sr карбонаты образуют две параллельные линии. Первая образована карбонатами первой группы, на

продолжении которой располагается основное количество миаскитов, а также плагиогнейсы и амфиболиты вмещающих толщ палеоокеанического генезиса. Вторая линия образована карбонатами второй группы. В обеих группах карбонатов наблюдаются значительные вариации содержания стронция при практически постоянном изотопном отношении, что может объясняться фракционной кристаллизацией карбонатитов. Широкие вариации изотопов стронция в миаскитах могут быть обусловлены целым рядом причин. В частности, эти вариации могут отражать контаминированность миаскитовой магмы веществом вмещающих толщ.

Изотопный состав неодима в карбонатах первой и второй группы, как и в случае стронция, резко отличен. Максимальным первичным отношением  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i = 0,51223$  и положительным  $\epsilon\text{Nd} = +2,9 \div +3,4$  обладают карбонаты первой группы. Карбонаты второй – имеют более низкое неодимовое отношение  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i = 0,51193$  и соответственно отрицательные значения  $\epsilon\text{Nd} = -2,4 \div -3,4$ . Таким образом, на графике  $(^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd})_i$ -Nd карбонаты образуют две параллельные линии. Широкие вариации Nd в карбонатах связаны с фракционированием этих элементов при кристаллизации главных и акцессорных минеральных фаз карбонатитов. В то же время, составы поздних, чисто доломитовых карбонатитов занимают промежуточное положение между линиями, что, на наш взгляд, может отражать нарушение Sm-Nd системы в этих пробах, вызванную контаминацией веществом вмещающих гипербазитов.

На диаграмме  $\epsilon\text{Nd}$ - $\epsilon\text{Sr}$  точки карбонатитов лежат на воображаемой линии DMM-EM1 (рис. 1). При этом карбонатиты из метаморфического обрамления располагаются в поле обогащенного источника (EM1) с модельным Sm-Nd возрастом  $T_{\text{DM}} = 1000-1500$  млн лет, в противоположность карбонатитам из миаскитов, источник которых претерпел некоторое обеднение ЛРЗЭ, литофилами и имеет модельный возраст  $T_{\text{DM}} = 800-1000$  млн лет. Деплетированность данного источника могла быть вызвана растяжением коры с формированием толеитовых базальтов. Природа обогащенного мантийного резервуара (EM1) применительно к карбонатитам может быть объяснена частичной декарбонатизацией докембрийских морских карбонатов и плавлением субдуцированной океанической коры, генерирующей богатый  $\text{CO}_2$  флюид/расплав, метасоматизирующий подконтинентальную литосферу.

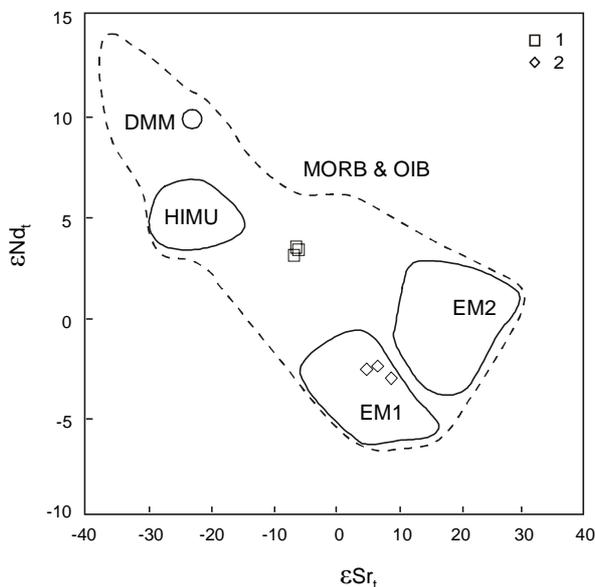


Рис. 1. Начальные отношения изотопов Nd и Sr в карбонатитах Ильмено-Вишневогорского щелочно-карбонатитового комплекса.

1 – кальцит (карбонатиты в миаскитах), 2 – кальцит (карбонатиты в фенитах и метагипербазитах Булдымского массива), MORB&OIB и мантийные резервуары: DMM, PRIMA, HIMU, EM1, EM2, нанесены по данным [Hofmann, 1997; Zindler A., Hart, 1986].

## ИНФОРМАЦИЯ И ХРОНИКА

На основании полученных изотопных данных по карбонатитам северного замыкания Ильмено-Вишневогорского комплекса, можно сделать ряд выводов. Четко обозначилось существование двух типов карбонатитов: карбонатитов, связанных с миаскитами, и карбонатитов в обрамлении щелочного комплекса, залегающих в метаморфических толщах (булдымский тип).

Устойчивые отношения изотопов стронция и неодима в обоих типах карбонатитов противоречат предположению об их контаминации веществом вмещающих толщ. Это подтверждается и мантийными метками кислорода, угле-

рода, серы в карбонатитах ( $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}} = -6.3 \div -8.5$ ;  $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = 7.5-10.4$  в карбонатах и силикатах). В то же время, такая возможность не исключена для силикатной части комплекса (миаскиты, сиениты).

Формирование карбонатитов происходило из двух отличных друг от друга источников. Для карбонатитов Булдымского массива можно предположить более древний, обогащенный радиогенным стронцием и нерадиогенным неодимом источник типа ЕМ1, а для карбонатитов в миаскитах и амфиболитов вмещающих толщ – более деплетированный источник.