

А.А. Ефимов*, Р.М. Бедни***, Ж.-Л. Бодинье**

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ КАК ОДИН ИЗ КРИТЕРИЕВ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ЕДИНСТВА ПЛАТИНОНОСНЫХ ДУНИТОВ УРАЛА И АЛДАНСКОГО ЩИТА

*Институт геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург

**ISTEEM, Universite de Montpellier 2, Монпелье, Франция

Около 50 лет тому назад на Алданском щите были открыты три округлых в плане массива с площадью выхода до 25 км² – Кондерский, Инаглинский и Чадский, сложенные содержащими самородную платину дунитами, весьма сходными с дунитами Платиноносного пояса Урала. В отличие от уральских дунитовых тел, интегрированных в сложную структуру Пояса, находящегося внутри палеозойской складчатой области, алданские дунитовые массивы представляют собой геологически изолированные, автономные трубообразные тела, интродуцирующие архейский кристаллический фундамент и рифейский осадочный чехол щита. Эти тектонические отличия, а также пространственная связь алданских дунитов со щелочными породами, дали основания И.С.Рожкову и др. [1962] усомниться в генетической близости алданских и уральских дунитов и выделить особый (платформенный) «алданский» тип платиноносных комплексов в отличие от эвгеосинклинального – «уральского». Однако абсолютное вещественное сходство горных пород уже в то время и позднее позволяло предполагать генетическое единство платиноносных дунитов двух столь различных регионов [Ефимов, 1966; Ефимов, Таврин, 1978].

Отличия в тектонике и в составе ансамбля сопровождающих пород как будто бы делают сомнительной попытку поставить знак равенства между алданскими и уральскими дунитами. Однако результаты детального изучения структуры и тектоно-метаморфической истории Платиноносного пояса Урала в последние 25 лет позволили сделать парадоксальный и притом весьма надежный вывод, заключающийся в том, что и здесь дунитовые тела с их неизменными клинопироксенитовыми оболочками исходно были геологически автономными, сравнимыми по размерам и даже по морфологии с алданскими,

не имели генетической связи с габбро, слагающими главную массу Пояса, и были включены в его структуру в эпоху горячей аккреции *тектоническим* путем [Ефимов, 1999]. Этот вывод не только отрицает всякую возможность кумулятивной природы дунитов, но и дает возможность рационального объяснения так называемой “дунит-клинопироксенит-габбровой магматической формации”. Отсюда следует, что есть основания считать тела дунитов “урало-алданского” типа общим элементом, связывающим воедино “зональные” платиноносные комплексы Урала, Алданского щита и Юго-Восточной Аляски (Ефимов, 1998).

Тем не менее, существующие мнения о природе платиноносных дунитов урало-алданского типа противоречивы. Например, авторы монографии, содержащей множество сведений по составу породообразующих минералов и самородной платины Кондерского массива, объективно подтверждающих вещественную идентичность уральских и алданских дунитов, пришли к выводу о том, что последние суть кумуляты, родоначальный расплав которых является “по характеру распределения РЗЭ... промежуточным между меймечитовыми магмами и расплавами, из которых кристаллизовались пикриты Камчатки” (Некрасов и др., 1994, с. 214). Изучавший уральские объекты Е.В. Пушкарев (2000, с.148), присоединившийся к известной трактовке дунитов «зональных» комплексов как кумулятов габбровой магмы, использовал эти же данные для суждения об отличиях уральских и алданских дунитов: «По сравнению с уральскими дунитами, дуниты Кондера характеризуются наиболее высоким содержанием РЗЭ и субгоризонтальным их распределением.» Таким образом, к обсуждению вопроса о сходстве и различиях платиноносных дунитов Урала и Алданского щита, а, следовательно, и о степени их генети-

ческой близости, привлекаются все более разнообразные данные вещественного свойства, в том числе и такие аналитически сложные, как состав РЗЭ. Необходимо, по-видимому, внести большую ясность в этот вопрос.

В лаборатории Университета Монпелье 2 (Франция) проанализированы методом ICP MS на 25 следовых элементов, в том числе на группу РЗЭ, 30 представительных проб дунитов Кондерского массива. Изученные пробы характеризуют всю площадь сечения дунитового штока с размерами $6,1 \times 5,2$ км и почти весь химический диапазон дунитов – по железистости от 9 до 15 ат.% и по степени серпентинизации – от 1 до 5 мас.% H_2O .

Анализ данных по РЗЭ, приводимых в таблице, позволил установить, что какие-либо ощутимые пространственные закономерности распределения концентраций отдельных элементов и суммарных содержаний РЗЭ в сечении массива не наблюдаются. Не обнаруживается также статистической связи между концентрациями РЗЭ и важнейшими химическими характеристиками дунитов – железистостью и степенью серпентинизации. Вместе с тем дуниты Кондера составляют достаточно тесную геохимическую группу, резко отличающуюся малыми концентрациями и характером распределения РЗЭ от пород маломощного пироксенитового кольца, окружающего дунитовый шток. Суммарное абсолютное содержание РЗЭ увеличивается в ряду дунитов от 0,1 до 2,4 г/т, при явном преобладании содержаний до 1 г/т, и, главным образом, в связи с увеличением содержаний легких элементов группы: содержания La изменяются от 0,020 до 0,683 г/т, Yb – от 0,0135 до 0,0433 г/т. Графики нормированных по хондриту содержаний РЗЭ (рис. 1) демонстрируют широкий диапазон концентраций легких лантаноидов (La_N – от 0,03 до 1,1) при гораздо меньшем разбросе концентраций тяжелых (Yb_N – от 0,05 до 0,2); в общем значения La_N не превышают (за исключением одного случая) 1,0, а Yb_N – 0,2 хондритовых единиц, что выражается в широких колебаниях отношения La_N/Yb_N – от 0,4 до 15. Соответственно плавно изменяется форма графиков, в совокупности составляющих единый химический ряд – от близкой к корытообразной в нижней, до крутонаклонной в верхней части поля составов.

Приведенные данные – первые систематические и наиболее точные на данный момент по геохимии РЗЭ для дунитов Кондерского массива.

Единственный имеющийся в литературе анализ кондерского дунита, выполненный нейтронно-активационным методом [Некрасов и др., 1994], с ними совершенно не согласуется: нормированный по хондриту график более чем в 2 раза превышает хондритовые значения при субгоризонтальном распределении РЗЭ, т.е. при примерно равных нормированных значениях для всех элементов группы. Естественно, что он не может служить основанием для суждения авторов монографии, со ссылкой на нашу статью [Ефимов, Таврин, 1978], о том, что «петрогеохимический анализ ультраосновных пород Кондерского массива не подтверждает идентичности природы их первичного вещества гипербазитам Уральского платиноносного пояса, как предполагается», также как и для высказываний о различиях уральских и алданских дунитов в отношении РЗЭ [Пушкарев, 2000].

В литературе имеется несколько анализов уральских платиноносных дунитов на группу РЗЭ, выполненных методом ICP MS в лаборатории Университета Гранады, Испания (2 анализа для Кытлымского и 3 анализа для Уктусского массива) и в Activation Laboratories LTD, Онтарио, Канада (6 анализов для Нижнетагильского массива); анализы приведены соответственно в работах Г.Б.Ферштатера и др. [1999], Е.В.Пушкарева [2000] и В.Р.Шмелева и др. [1997]. На рис. 1 графики кытлымских и уктусских дунитов практически окаймляют поле составов Кондера снизу и сверху, а графики нижнетагильских дунитов (не показанные на рисунке ввиду неполноты) находятся между ними, в середине кондерского поля. Тенденция фракционирования одна и та же: обогащение легкими элементами по мере увеличения суммы РЗЭ, что отчетливо демонстрирует диаграмма (рис. 2). При этом следует заметить, что данные по Уралу пока весьма фрагментарны, несистематичны и, возможно, не вполне сопоставимы по точности с нашими. Можно ожидать, что при увеличении количества систематических данных две совокупности дунитов – уральская и алданская – объединятся в одно геохимическое множество.

Вещественная идентичность уральских и алданских платиноносных дунитов подтверждается полным сходством их химического состава, состава оливина и акцессорного хромита, состава самородной платины и многими другими характеристиками, включая, как показано выше, спектры РЗЭ. Совпадение такого коли-

Концентрации элементов группы редких земель в дунитах Кондерского массива (г/г)

№ обр.	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Σ РЗЭ
8192	0,033	0,056	0,0077	0,031	0,0105	0,0033	0,0129	0,0020	0,0161	0,0036	0,0136	0,0023	0,0211	0,0045	0,2176
8194	0,045	0,098	0,0139	0,070	0,0186	0,0080	0,0202	0,0034	0,0240	0,0057	0,0180	0,0033	0,0241	0,0046	0,3568
8198	0,316	0,627	0,0695	0,287	0,0519	0,0144	0,0417	0,0058	0,0329	0,0067	0,0238	0,0038	0,0267	0,0053	1,5125
8201	0,085	0,131	0,0188	0,081	0,0195	0,0057	0,0190	0,0027	0,0184	0,0046	0,0150	0,0026	0,0179	0,0039	0,4251
8205	0,060	0,131	0,0194	0,084	0,0276	0,0077	0,0317	0,0059	0,0388	0,0088	0,0275	0,0047	0,0322	0,0058	0,4851
8209	0,034	0,071	0,0099	0,042	0,0123	0,0040	0,014	0,0021	0,0160	0,0037	0,0147	0,0026	0,0190	0,0042	0,2495
8213	0,024	0,044	0,0061	0,029	0,0072	0,0027	0,0080	не опр.	0,0109	0,0027	0,0114	0,0022	0,0180	0,0039	0,1701
8214	0,03	0,058	0,0071	0,029	0,0082	0,0030	0,0098	0,0017	0,0111	0,0025	0,0112	0,0023	0,0178	0,0041	0,1958
8225	0,049	0,083	0,0107	0,047	0,0109	0,0037	0,0109	0,0018	0,0126	0,0033	0,0115	0,0020	0,0145	0,0032	0,2641
8226	0,037	0,068	0,0097	0,044	0,0110	0,0036	0,0124	0,0020	0,0147	0,0031	0,0107	0,0017	0,0135	0,0027	0,2341
8227	0,020	0,039	0,0055	0,024	0,0061	0,0019	0,0072	0,0014	0,0091	0,0025	0,0093	не опр.	0,0153	0,0029	0,1442
8229	0,025	0,041	0,0059	0,023	0,0067	0,0020	0,0058	0,0012	0,0090	0,0026	0,0106	0,0022	0,0156	0,0031	0,1537
8230	0,051	0,107	0,0156	0,066	0,0178	0,0067	0,0199	0,0030	0,0196	0,0046	0,0145	0,0026	0,0198	0,0041	0,3522
8280	0,143	0,387	0,0460	0,228	0,0579	0,0224	0,0582	0,0089	0,0564	0,0118	0,0369	0,0057	0,0407	0,0075	1,1104
8303	0,034	0,067	0,0082	0,032	0,0082	0,0027	0,0077	0,0011	0,0091	0,0025	0,0089	0,0018	0,0159	0,0035	0,2026
8304	0,021	0,043	0,0059	0,027	0,0073	0,0024	0,0094	не опр.	0,0135	0,0031	0,0115	не опр.	0,0178	0,0038	0,1657
8305	0,063	0,111	0,0125	0,053	0,0116	0,0043	0,0136	не опр.	0,0159	0,0037	0,0118	не опр.	0,0193	0,0045	0,3242
8308	0,012	0,024	0,0038	0,014	0,0055	0,0019	0,0072	0,0013	0,0102	0,0027	0,0111	0,0020	0,0185	0,0040	0,1182
8312	0,015	0,031	0,0039	0,016	0,0052	0,0016	0,0054	0,0011	0,0095	0,0022	0,0096	0,0020	0,0151	0,0035	0,1211
8316	0,020	0,031	0,0052	0,021	0,0082	0,0037	0,0087	0,0016	0,0113	0,0030	0,0107	0,0022	0,0166	0,0034	0,1466
8319	0,093	0,132	0,0131	0,049	0,0120	0,0036	0,0098	0,0017	0,0119	0,0031	0,0117	0,0022	0,0157	0,0036	0,3624
8323	0,025	0,045	0,0064	0,028	0,0093	0,0026	0,0080	0,0014	0,0111	0,0030	0,0119	0,0022	0,0175	0,0037	0,1751
8388	0,078	0,208	0,0301	0,160	0,0467	0,0138	0,0524	0,0075	0,0438	0,0088	0,0262	не опр.	0,0280	0,0054	0,7087
8392	0,058	0,140	0,0220	0,108	0,0330	0,0104	0,0342	0,0056	0,0358	0,0075	0,0224	не опр.	0,0273	0,0051	0,5093
8398	0,050	0,113	0,0178	0,071	0,0204	0,0070	0,0224	0,0037	0,0240	0,0061	0,0189	0,0035	0,0240	0,0052	0,3870
8402	0,027	0,057	0,0088	0,041	0,0121	0,0040	0,0127	0,0022	0,0151	0,0035	0,0121	0,0022	0,0185	0,0040	0,2202
8403	0,045	0,116	0,0151	0,073	0,0186	0,0058	0,0200	0,0030	0,0201	0,0050	0,0163	0,0032	0,0279	0,0062	0,3752
8408	0,297	0,672	0,0886	0,389	0,0915	0,0253	0,0874	0,0126	0,0740	0,0155	0,0448	0,0064	0,0433	0,0080	1,8554
8409	0,035	0,077	0,0112	0,045	0,0123	0,0043	0,0150	0,0022	0,0160	0,0040	0,0132	не опр.	0,0197	0,0041	0,2590
8485	0,683	0,946	0,1095	0,396	0,0605	0,0178	0,0444	0,0067	0,0412	0,0084	0,0278	0,0044	0,0302	0,0054	2,3813

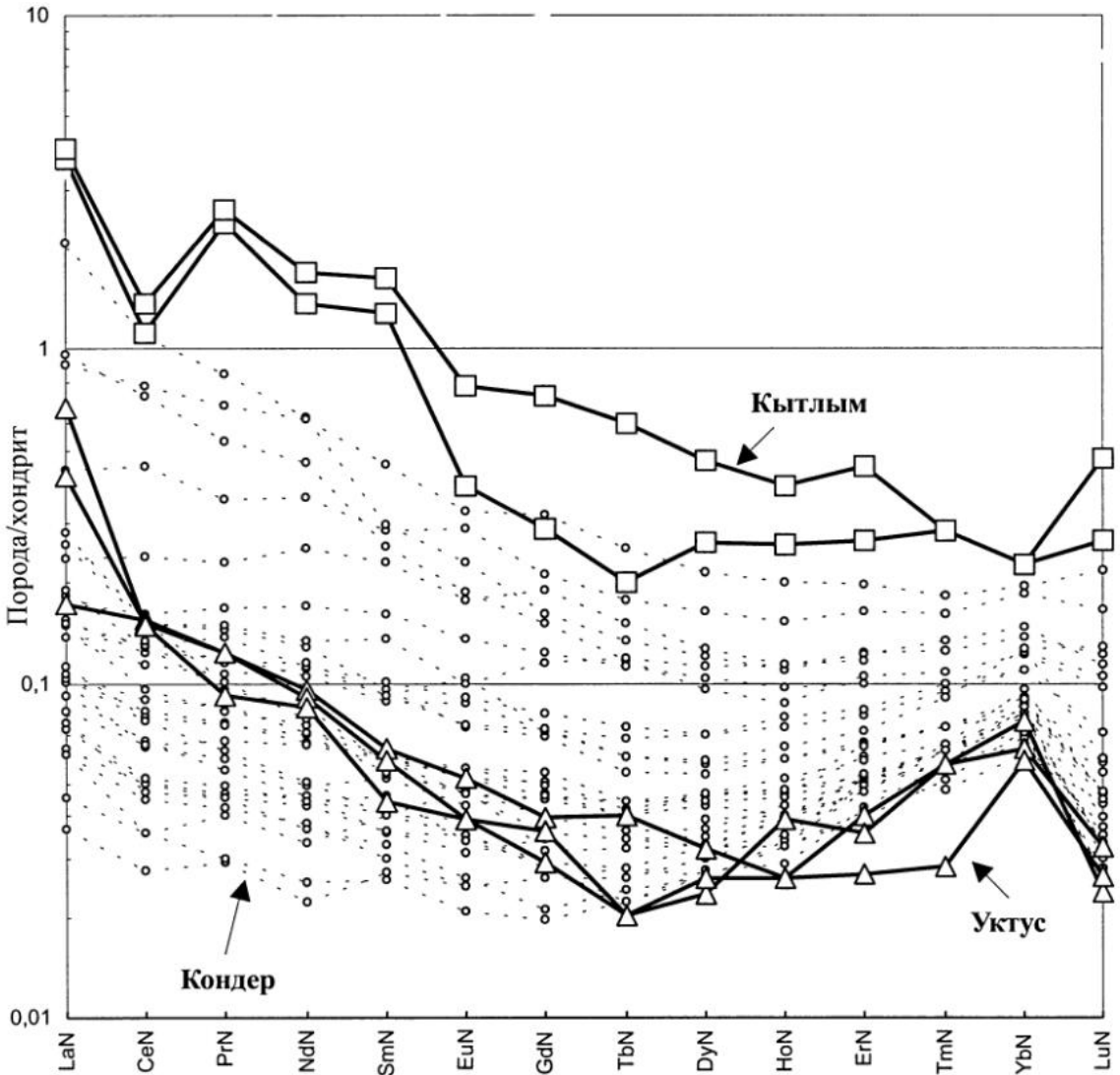


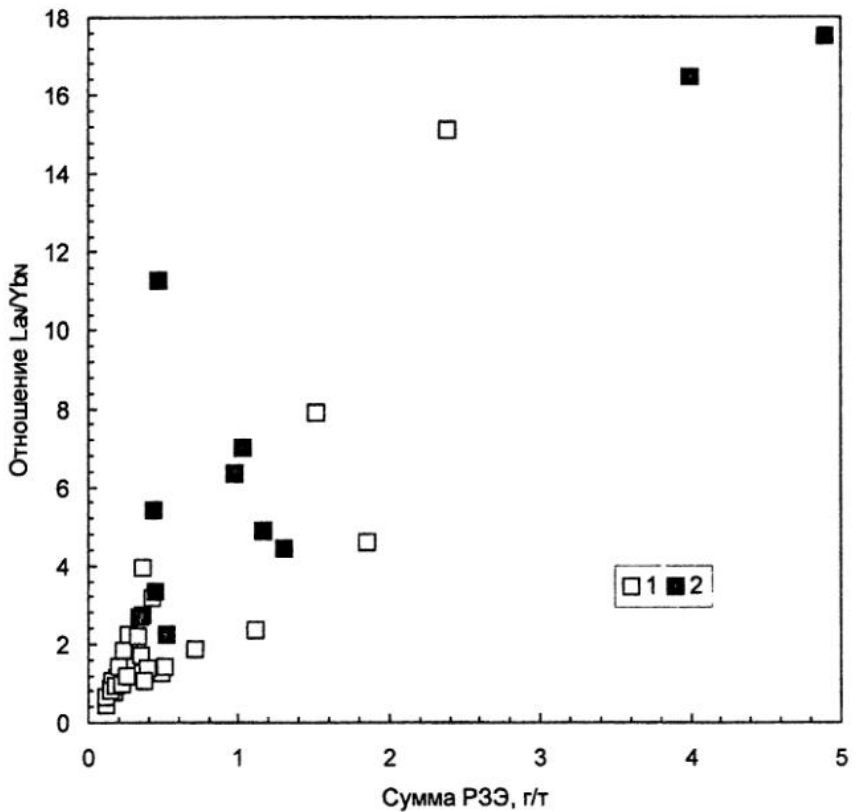
Рис. 1. Нормированные по хондриту графики редкоземельных элементов для дунитов Кондерского массива в сравнении с таковыми для дунитов Платиноносного пояса Урала.

чества независимых переменных не может быть случайным и не может быть проявлением конвергенции в результате эволюции разных гипотетических магм. Следовательно, уральские и алданские платиноносные дуниты, к которым можно присоединить, по-видимому, и дуниты Платиноносного пояса Русской Америки (Юго-Восточной Аляски), генетически едины и представляют собой одно и то же вещество, точнее, продукт одного и того же процесса. Сущность

процесса до сих пор не ясна, однако достаточно ясно, что продукт этого процесса представляет собой твердое вещество подконтинентальной верхней мантии, проникающее из подкоровой области в кристаллический фундамент древних платформ и даже в их осадочный чехол. Остается также недостаточно понятным, каким образом это вещество вовлекается в структуру складчатых областей, как это имеет место на Урале и на Аляске.

Рис. 2. Сопоставление суммы РЗЭ и отношения La_N/Yb_N для дунитов Кондерского массива и дунитов Платиноносного пояса Урала.

1 – Кондерский массив; 2 – Платиноносный пояс Урала.



Список литературы

Ефимов А.А. Проблема дунита // Советская геология. 1966. № 5. С. 13–27.

Ефимов А.А. Платиноносный пояс Урала: тектоно-метаморфическая история древней глубинной зоны, записанная в ее фрагментах // Отечественная геология. 1999. № 3. С. 31–39.

Ефимов А.А., Таврин И.Ф. О генетическом единстве платиноносных дунитов Урала и Алданского щита // Доклады АН СССР. 1978. Т. 243. № 4. С. 991–994.

Некрасов И.Я., Ленников А.М., Октябрьский Р.А. и др. Петрология и платиноносность кольцевых щелочно-ультраосновных комплексов. М.: Наука, 1994. 381 с.

Пушкарев Е.В. Петрология Уктусского дунит-клинопироксенит-габбрового массива (Средний Урал). Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 296 с.

Рожков И.С., Кицул В.И., Разин Л.В., Боршанская С.С. Платина Алданского щита. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 119 с.

Ферштатер Г.Б., Беа Ф., Пушкарев Е.В. и др. Новые данные по геохимии Платиноносного пояса Урала: вклад в понимание петрогенезиса // Геохимия. 1999. № 4. С. 352–370.

Шмелев В.Р., Седлер И., Борз Г. Петролого-геохимические особенности пород Тагильского платиноносного массива в Платиноносном поясе Урала // Ежегодник-1996 ИГиГ. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. С. 89–92.

Ефимов А.А. The Platinum Belt of the Urals: Structure, petrogenesis and correlation with platinumiferous complexes of the Aldan Shield and Alaska // 8th International Platinum Symposium. Abstracts. 28 June – 3 July 1998. Johannesburg, SAIMM, 1998. P. 93–96.