

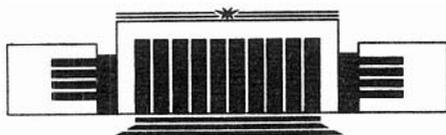


Государственный научный центр
Российской Федерации
Институт ядерной физики
им. Г.И. Будкера

Л.С. Тарасов, А.Ф. Кудряшова, А.А. Ульянов,
В.А. Бобров, Е.Г. Вертман, В.Б. Барышев,
К.В. Золотарев

**СОВМЕСТНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
РФА-СИ И ИНАА МЕТОДОВ
ДЛЯ ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ
БАЗАЛЬТОВ ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ ЛУНЫ**

ИЯФ 96-42



НОВОСИБИРСК

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ
им. Г.И. БУДКЕРА

СИБИРСКИЙ ЦЕНТР СИНХРОТРОННОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ

Л.С. Тарасов, А.Ф. Кудряшова, А.А. Ульянов,
В.А. Бобров, Е.Г. Вертман, В.Б. Барышев,
К.В. Золотарев

Совместное использование РФА-СИ и ИНАА
методов для геохимической характеристики
базальтов восточной окраины Луны

ИЯФ 96-42

Новосибирск
1996

**Совместное использование РФА-СИ и ИНАА
методов для геохимической характеристики
базальтов восточной окраины Луны**

*Л.С. Тарасов¹, А.Ф. Кудряшова¹, А.А. Ульянов²
В.А. Бобров³, Е.Г. Вертман⁴
В.Б. Барышев, К.В. Золотарев*

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН, 630090, Ново-
сибирск, проспект Лаврентьева, 11

АННОТАЦИЯ

Очень низкотитанистые (VLT) и низкотитанистые (LT) базальты Луны были исследованы РФА-СИ и ИНАА методами, особенности этих методов были рассмотрены. Получены геохимические данные по распределению ряда редких элементов во всех изученных типах пород. Новая промежуточная VLT-LT базальтовая группа была выделена на основании содержания TiO_2 , типов РЗЭ спектров и распределения ряда редких элементов (Rb, Sr, Y, Zr, Nb, La, Hf и др.). Обсуждены геохимические особенности изученных групп базальтов, возможные источники их. Показано, что VLT и VLT-LT базальты являются результатом многоэтапных процессов эволюции и могут принадлежать к дифференцирующим реститовым системам. Характерно долговременное функционирование их источников, в том числе в доморской период лунного вулканизма.

©Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера, Россия

¹ Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН, 117975, Москва, ул. Косыгина, 19

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, 119899, Москва

³ Объединенный институт геологии и геофизики СО РАН, 630090, Новосибирск, Университетский проспект, 3

⁴ Томский политехнический институт, 634050, Томск, ул. Ленина, 2а

Введение

На протяжении ряда лет на базе Института ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН в Новосибирске методом рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения (РФА-СИ) проводилось изучение распределения редких элементов - Rb, Sr, Y, Zr, Nb и отчасти Ba, La, Ce в лунных породах. Эти исследования выполнялись совместно Институтом геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН и Институтом ядерной физики СО РАН им. Г.И. Будкера. За годы исследований были изучены разнообразные породы из различных районов Луны, посещенных автоматическими станциями "Луна" и американскими экспедициями "Аполлон". На определенном этапе для петрохимической классификации пород "Луны-20", изучения редкоземельных элементов, подтверждения и уточнения полученных по РФА-СИ результатов потребовалось объединение этих исследований с изучением части этих образцов с помощью инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА). Оно проводилось совместно с Томским политехническим институтом (Томск) и Объединенным институтом геологии, геофизики и минералогии СО РАН (Новосибирск).

Настоящая работа посвящена геохимически специфичным очень низкотитанистым (very low titanium - VLT) и близким к ним переходным к низкотитанистым (VLT-LT) базальтам, распространенным в восточной части видимой стороны Луны. Породы VLT типа почти одновременно были обнаружены в виде нескольких об-

ломков в сборах американской экспедиции "Аполлон-17" (восточная окраина Моря Ясности) [1] и как главный компонент среди пород в колонке, отобранной автоматической станцией "Луна-24" в Море Кризисов [2, 3]. Специфика этих пород заключалась в очень низком для лунных пород содержании титана ($TiO_2 < 1.6 \%$) и крайне низких содержаниях ряда редких элементов, что было также подтверждено первыми исследованиями VLT базальтов "Луны-24" методом РФА-СИ [4, 5, 6, 7]. Низкие содержания указанных элементов в VLT породах, особенно, в сочетании с маленьким размером изучаемых фрагментов пород представляли большой методический интерес, так как позволяли выявить аналитические возможности метода РФА-СИ.

Позднее эти исследования включили изучение морских базальтов из материкового района "Луны-20" [8, 9] и из Моря Изобилия ("Луна-16") [10], среди которых были обнаружены базальты по содержаниям титана переходные от очень низкотитанистых к низкотитанистым (VLT-LT) [10, 11, 12]. Один из фрагментов базальтов "Луны-20" был изучен ^{40}Ar - ^{39}Ar -методом и для него был определен изотопный возраст 3.91 млрд. лет [13], что превышает возраст обычных морских базальтов Луны. Это поставило вопрос о доморском этапе развития базальтов морского типа, в частности VLT-LT типа, и необходимости более детального изучения таких базальтов из различных районов восточной окраины Луны. Результатам этого исследования и посвящена настоящая работа.

Первые данные РФА-СИ по этим породам были опубликованы ранее в одном из разделов работы [6] и представляемая работа является развитием этой первой публикации. В нее включены данные о базальтах морского типа "Луны-20", "Луны-16", а также ранее полученные данные о базальтах "Луны-24" и два новых анализа VLT базальтов "Аполлона-17".

Объекты и методы исследования

Объектами этого исследования были фрагменты лунных базальтов морского типа. Размер фрагментов пород от долей мм до 2 мм. РФА-СИ является методом, исключительно хорошо удовлетворяющим требованиям, возникающим при изучении таких объектов. Особенности синхротронного излучения - непрерывный спектр, малая угловая расходимость пучка, естественная поляризация излучения, уменьшающая рассеяние возбуждающего излучения и позво-

ляющая вследствие этого резко снизить фоновые эффекты, и, особенно, высокая интенсивность синхротронного излучения, на много порядков превышающая интенсивность любых других источников рентгеновского излучения - создают самые благоприятные возможности для анализа ряда элементов в объектах малой и очень малой массы при малом времени набора спектров. Оно, как правило, составляет 200 с. Последнее очень важно, так как делает метод достаточно экспрессным, создает возможность для быстрой проверки отклоняющихся или сомнительных результатов и представляет хорошие возможности для контроля по разным стандартным образцам. Метод неdestructивен, что при уникальности исследуемых образцов сохраняет их для дальнейших петрографо-минералогических исследований, изучения их ИНАА и другими методами.

Работа проводилась на станции элементного анализа на накопителе ВЭПП-4 (до 1985 года) и позднее на накопителе ВЭПП-3 в Институте ядерной физики им. Г.И. Буджера СО РАН. Принципы и особенности РФА-СИ на этих накопителях рассмотрены в работах [14-17], а результаты методических и геохимических исследований с помощью РФА-СИ - в работах [4, 6, 8, 12, 18-20]. На станции элементного анализа применялся перестраиваемый монохроматор. Для энергий до 40 кэВ (т.е. для определения Rb, Sr, Y, Zr, Nb) использован плоский кристалл пиролитического графита, имеющий объем $50 \times 50 \times 3$ мм³ и коэффициент отражения 20%. При энергиях свыше 40 кэВ (т.е. для определения Ba, La, Ce) был использован кристалл LiF. В ходе регистрации спектров на разных образцах поддерживался уровень загрузки в пределах 0.7-1.2 кГц (или на ином уровне в зависимости от используемого процессора и детектора). Регулировка загрузки проводилась вертикальным перемещением монохроматора и медными фильтрами различной толщины, помещаемыми между монохроматором и образцом. Алюминиевый фильтр на входе детектора обеспечивал уменьшение вторичного излучения железа и предупреждал возникновение дублирующих пиков в области пиков рублидия, что резко улучшало возможности регистрации его слабых пиков. Для регистрации флуоресцентного излучения использовался полупроводниковый детектор Si(Li) с разрешением около 200 эВ. Для удержания плоскости поляризации и стабилизации коэффициента поляризации пучка СИ, а также стабилизации положения самого пучка были приняты специальные меры. В результате такой модернизации станции и автоматизации процесса регистрации спектров, а также непрерывного вывода на экран монитора ряда параметров, в том числе индикации пиков по энергиям, качество регистрируемых спектров было значительно улучшено. ЭВМ-

обеспечение создано на базе микрокомпьютера "Одренок" с объемом памяти 64 К 24-бит слов. При работе использовались внешние стандарты ВСR-1 и W-1. При определении Y, Zr, Nb вводились поправки соответственно на вклад K_{β} Rb, K_{β} Sr, K_{β} Y.

Пучок СИ при нормальном режиме работы накопителя держится в пределах 1.5-3 часов, однако, ток электронов непрерывно падает от 120-100 мА до 40-25 мА. Поэтому для получения надежных и сопоставимых результатов и уменьшения ошибок определения элементов использована следующая схема регистрации спектров: СТ₁-O₁-O₂-O₃-СТ₂-O₄-O₅-O₆-СТ₃-O₇-... (СТ - стандарт базальта ВСR-1, O-образцы). Систематически вместо одного из образцов вводился стандартный базальт W-1. Использовалась также соответствующая схема последовательности обработки спектров на ЭВМ [20]. Принятые схемы регистрации и обработки спектров, а также рассмотренные выше меры по стабилизации режима работы сказались в хорошей воспроизводимости данных, устанавливаемой по результатам анализа стандарта W-1 (табл. 1).

Таблица 1. Статистические характеристики результатов анализа (РФА-СИ) редких элементов в стандартном базальте W-1 в трех сериях измерений (мкг/г)

Серия	Статистические параметры ¹	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
1-ая серия n = 10	\bar{x}	25.49	202.95	21.78	88.96	7.73
	σ	2.51	15.92	2.42	10.05	8.99
	$\sigma \%$	9.85	7.85	11.11	11.30	116.30
	σ^2	6.30	253.44	5.86	101.09	80.82
	Δx_{cm}	+4.49	+12.95	-3.22	-16.05	-1.77
	$\Delta x_{cm} \%$	+21.38	+6.82	-12.88	-15.28	-18.63
2-ая серия n = 15	\bar{x}	22.81	200.93	24.85	88.63	9.93
	σ	2.85	13.46	1.91	9.59	2.22
	$\sigma \%$	12.49	6.70	7.69	10.82	22.34
	σ^2	8.12	181.08	3.65	91.96	4.92
	Δx_{cm}	+1.81	+10.93	-.15	-16.37	+0.43
	$\Delta x_{cm} \%$	8.62	+5.75	-.60	-15.59	+4.53
3-ья серия n = 5	\bar{x}	23.15	208.29	25.20	88.16	7.96
	σ	3.05	7.72	1.68	12.26	2.01
	$\sigma \%$	13.18	3.71	6.65	13.91	25.24
	σ^2	9.32	59.67	2.80	150.34	4.03
	Δx_{cm}	2.15	+18.29	+0.20	-16.84	-1.54
	$\Delta x_{cm} \%$	10.24	+9.62	+0.79	-16.04	-16.22
Рекомендованные значения содержания [21]		21	190	25	105	9.5

Регистрация одного и того же образца стандартного базальта W-1 для контроля производилась неоднократно в каждой серии измерений. В таблице 1 приведены результаты статистической обработки для трех серий, включающих соответственно 10, 15 и 5 спектров W-1 (n). Серии разделены промежутком времени в 4-5 месяцев. От серии к серии производилась модернизация станции, улучшение режимов съемки и др., что в общем-то улучшало результат анализа. Это видно из табл. 1 на примере Rb, Sr, Y и Nb. Отклонения \bar{x} от x_{cm} (где x_{cm} - рекомендованное значение содержания эле-

¹ Мерой воспроизводимости являются значения $\bar{x}, \sigma, \sigma \%, \sigma^2$. Мерой систематических отклонений от рекомендованных значений содержания элементов в базальте W-1 являются $\Delta x_{cm}, \Delta x_{cm} \%$.

мента в стандартном базальте W-1 [21]) является мерой систематических отклонений (Δx_{cm}) результатов анализа. В отношении циркония отмечается постоянство результатов и стандартное занижение на 15-16% (Δx_{cm} %). Однако его систематический характер и небольшая величина не могут сколько-нибудь значительно сказаться на результатах геохимической интерпретации. Большие систематические отклонения для Rb (x_{cm} до 21.3%) и значительные стандартные отклонения, т.е. разброс полученных значений, особенно для Nb, в первой серии указывают на нестабильные условия съемки, что также было видно исходя из других критериев. Это не позволило использовать результаты этой серии и позднее вся она была перемеряна в лучших условиях (см. серия 2-ая в табл. 1) и в дальнейшем при геохимической интерпретации использовались уже новые результаты.

Необходимым элементом расчета на ЭВМ является нормировка площадей пиков элементов на площадь пика комптоновского рассеяния. При неправильной работе здесь могут быть заложены источники некоторых ошибок. Однако проведенное сопоставление отношений указанных пиков для одного и того же стандарта BCR-1, снятого в разное время, показало хорошую сопоставимость этих данных, пример чего приведен в табл. 2 (BCR-1-1 и BCR-1-2 разные спектры одного и того же стандарта).

Для стандарта базальта BCR-1, являющегося для всех серий анализов основным рабочим внешним стандартом, приняты для расчета на ЭВМ следующие рекомендованные [21] содержания эле-

Таблица 2. Соотношение площадей пик/комpton для двух разных спектров одного и того же стандартного образца BCR -1

Элемент	BCR-1-1	BCR-1-2	Отношение BCR-1-1 / BCR-1-2
Fe	$9.049 \cdot 10^{-2}$	$9.059 \cdot 10^{-2}$	0.9989
Zn	$3.27 \cdot 10^{-3}$	$3.31 \cdot 10^{-3}$	0.9858
Rb	$2.45 \cdot 10^{-2}$	$2.55 \cdot 10^{-2}$	0.9608
Sr	0.204	0.202	1.0099
Y	$2.705 \cdot 10^{-2}$	$2.65 \cdot 10^{-2}$	1.0207
Zr	$1.748 \cdot 10^{-2}$	$1.74 \cdot 10^{-2}$	1.0046
Nb	$1.26 \cdot 10^{-2}$	$1.32 \cdot 10^{-2}$	0.9545

ментов (мкг/г): Rb - 47.0; Sr - 330.0; Y - 40.0; Zr - 185.0; Nb - 14.0; Ba - 680.0; La - 27.0; Ce - 53.0. В табл. 3-5 содержания элементов в образцах приведены как получено в результате расчета на ЭВМ с округлением до десятых долей мкг/г. Для всех элементов, кроме рубидия и лантана, десятые доли мкг/г не имеют существенного значения, но в случае лантана и, особенно, рубидия ввиду малых их содержаний, отбрасывание десятых долей приводит к картине, несоответствующей реальности, и искажению результатов. Изменение принятых для стандарта BCR-1 концентраций элементов при их уточнении не может быть значительным и не повлияет в какой-либо степени на геохимическую картину.

Методика подготовки и упаковки образцов для анализа на СИ требует специальных приемов и оборудования с целью обеспечить надежное закрепление и точную центровку образца в кольце-держателе. Она описана в [6]. На протяжении работы были использованы разные программы обработки спектров на ЭВМ. Последняя использованная программа AXIL позволяла выполнить достаточно корректное приближение расчета спектральных кривых (пиков) к гауссианам.

Работа на станции СИ проводилась нами на протяжении ряда лет. Поэтому важным является вопрос о сопоставимости между собой данных, полученных в разные годы. Сходимость результатов для одних и тех же образцов, измерение которых повторено не один раз в разные годы, вполне хорошая и расхождения не превышают, например, для стронция $\pm 5-10\%$, для иттрия $\pm 15\%$, для циркония $\pm 15\%$. В связи с важностью проблемы существования на Луне базальтов морского типа в доморской период развития лунной коры, что было отмечено выше, мы провели специальное изучение геохимических особенностей таких базальтовых пород "Луны-20" методом ИНАА. Это значительно дополнило данные РФА-СИ, так как позволило получить сведения о содержании TiO_2 (что послужило основой петрохимической классификации их) и распределения редкоземельных элементов и характере их спектров (что уточнило отношение образцов к тем или иным геохимическим группам).

Особенностью состава большинства пород лунного грунта являются низкие содержания натрия, урана и тория, т.е. тех элементов, которые создают наибольшие помехи при определении нейтронно-активационным методом редкоземельных элементов, особенно La, Nd, Sm, Tb. Это весьма благоприятное обстоятельство облегчило определение редкоземельных элементов в исследуемых образцах. Облучение проводилось на Томском исследовательском ре-

акторе потоками 10^{14} нейтрон-см⁻²-с⁻¹ (при определении титана, алюминия, марганца и натрия по короткоживущим нуклидам) и $5 \cdot 10^{17}$ нейтрон-см⁻²-с⁻¹ - при определении всех других элементов по долгоживущим нуклидам. В остальном применяемая аппаратура, выбор аналитических рабочих гамма-линий и др. не отличались от использованных в работе [22].

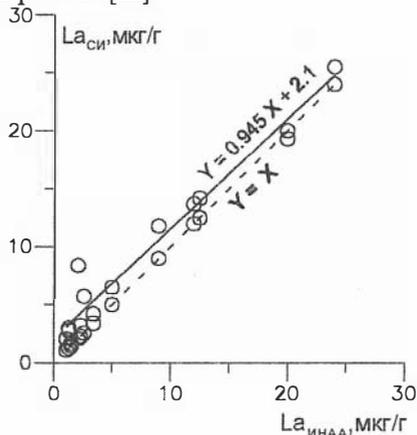


Рис. 1. Сопоставление результатов анализа церия в лунных породах методами РФА-СИ и ИНАА.

Таким образом, La и Ce были изучены как РФА-СИ, так и ИНАА. Это дало возможность сопоставить результаты анализа обоими методами для одних и тех же образцов (рис. 1 и 2). На этих рисунках по нанесенным точкам построены линии регрессии. В первом случае (для Ce) рассчитан коэффициент корреляции $r = 0.9918$ и уравнение регрессии $y = 0.590 + 0.922x$. Оно указывает на то, что прямая, отвечающая наклону 45° , практически совпадает с экспериментальной линией регрессии, т.е. результаты обоих методов одинаковы. Во втором случае (для La) - $r = 0.9900$ и уравнение регрессии $y = 2.100 + 0.945x$, что говорит также о близости наклона прямой к 45° и проходящей через начало координат, а диапазон смещения указывает на систематическое небольшое расхождение результатов на 15-20 % - либо завышение данных РФА-СИ, либо занижение данных ИНАА. Сопоставление с данными анализа стандартного базальта [6] говорит о более вероятном завышении данных РФА-СИ по La. В целом, приведенное сопоставление результатов обоих методов свидетельствует о хорошей их корреляции, т.е. об удовлетворительном

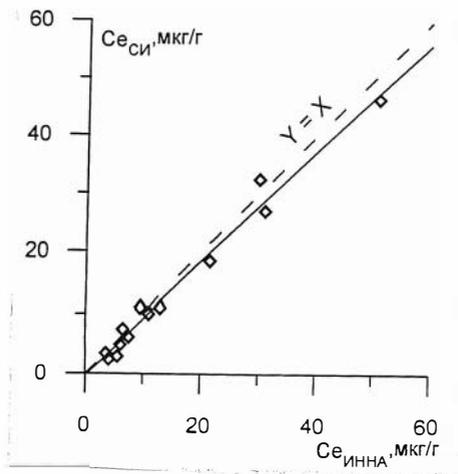


Рис. 2. Сопоставление результатов анализа лантана в лунных породах методами РФА-СИ и ИНАА.

совпадении анализов обоих методов и хороших аналитических возможностях метода РФА-СИ.

Результаты исследований.

Морские базальты "Луны-24".

Эти базальты относятся к типу VLT, что вполне подтверждается уровнем содержания в них стронция, иттрия и циркония. Только два из этих образцов - 24067, 3-005 и 24112, 0-001, обладающие несколько более высокими содержаниями этих элементов (табл. 3, рис. 3) предположительно могут быть отнесены к переходному типу VLT-LT базальтов. К VLT базальтам относятся обычно породы, в которых содержание TiO_2 не превышает 1.6-1.8 мас. %. Эти породы характеризуются очень низкими содержаниями редких элементов и простыми, лишенными резко выраженных аномалий Eu спектрами РЗЭ (см. рис. 7).

В то же время для пород VLT из разных районов могут быть отмечены различия. Так, по данным РФА-СИ, для базальтов VLT из проб "Аполлона-17" (табл. 3) устанавливаются несколько более низкие содержания стронция и циркония (рис. 3), но не иттрия. Определенные на основе данных ИНАА спектры РЗЭ VLT базальтов из Моря Кризисов ("Луна-24") [3] и Моря Ясности ("Аполлон-17") [1] принципиально отличаются, несмотря на близость уровней содержания редкоземельных элементов (см. рис. 7): для первых они обладают некоторой хаотичностью, в то время как РЗЭ спектры VLT "Аполлона-17" имеют четкий положительный наклон, то есть явное обогащение тяжелыми РЗЭ. Именно необходимость знания тонких особенностей строения спектров РЗЭ, то есть специфики фракционирования их, для геохимической классификации и содержаний TiO_2 и Al_2O_3 в морских породах "Луны-20" для петрохимической классификации их заставили привлечь для исследования также и ИНАА.

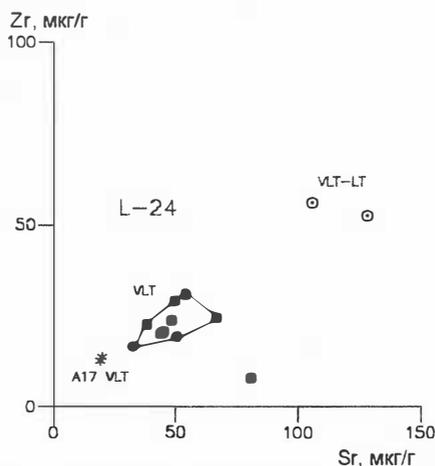


Рис. 3. Распределение циркония и стронция в VLT породах "Луны-24" и "Аполлона-17".

Таблица 3. Содержание редких элементов в морских базальтах "Луны-24" и "Аполлона-17", мкг/г

№ образца	Вес, мг	Описание образца	Rb	Sr	Y	Zr	Nb ¹	Ba	La	Ce
Базальты VLT-LT, "Луна-24"										
24067.3-005	0.75	Габбро крупнокристаллическое с преобладанием бурого пироксена, 1 мм	1.2	105.7	18.1	56.1	-	64.6	4.3	9.4
24112.0-001	4.25	Оливиновое габбро с бурым пироксеном	1.2	128.4	20.2	52.6	-	58.0	5.8	10.5
Базальты VLT, "Луна-24"										
24184.4-003	0.25	Габбро крупнозернистое с коричневым пироксеном, 1 мм	0.5	84.1	5.7	7.9	-	6.9	1.8	1.8
24060.4-6	1.25	Базальт серый, оливин-порфиновый, тонкозернистый, везикулярный, 1,2 мм	1.3	57.2	11.0	31.1	-	40.1	4.4	8.1
24156.2-5	0.10	Базальт оливин-порфиновый, черный, тонкозернистый, 700 мкм	0.7	52.7	11.1	29.2	-	31.3	4.9	7.2
24143.4-6	1.55	Базальт темно-серый оливин-порфиновый, тонкозернистый, 1,2 мм	0.8	51.7	10.1	23.8	-	26.1	3.1	6.3
24092.4-5	0.15	Оливин-порфиновый тонкозернистый базальт, 750 мкм	0.6	41.2	9.5	22.6	-	24.6	4.3	5.7
24142.0-001	1.00	Базальт тонкозернистый, везикулярный	0.7	48.3	9.7	20.9	-	29.7	3.6	6.5
24092.4-6	1.30	Базальт темно-серый оливин-порфиновый, мелкозернистый, 1,25 мм	н.о	47.2	8.1	20.3	-	24.3	3.5	6.1
24184.4-004	0.15	Долерит, 700 мкм	0.9	53.6	7.7	19.2	-	20.7	3.0	4.8
24184.4-001	1.65	Базальт везикулярный среднезернистый	н.о	69.9	8.8	24.5	-	-	-	-
24184.4-005	-	Базальт тонкозернистый	0.4	35.8	8.1	16.7	-	6.2	7.3	6.9
Базальты VLT, "Аполлона-17"										
78526.120-3	2.5	Тонкозернистый базальт	0.1	19.9	10.9	13.7	.6	-	-	-
78526.120-4	2.0	Тонкозернистый базальт	0.3	19.1	8.9	12.7	1.4	-	-	-

¹ В серии "Луны-24" ниобий не определялся:

Таблица 4. Содержания Al_2O_3 , TiO_2 , FeO (вес. %) и редких элементов (мкг/г): в морских базальтах "Луны-20":

№ образца	Вес, мг	Описание образца	Al_2O_3	TiO_2	FeO	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Ba	La	Ce
Высокотитанистые базальты (НТ)													
2014-223	0.40	Темно-серая тонкозернистая порода	17.78	7.97	24.43	0.6	114.4	41.1	146.8	24.4	-	-	-
Низкотитанистые базальты													
Группа I. (LT)													
2003-237	1.70	Очень тонкозернистый базальт	11.43	2.49	18.0	2.2	134.0	39.2	165.4	20.2	-	-	-
Группа II. (VLT-LT)													
2003-5-087	1.46	Среднезернистый базальт	14.52	2.14	4.50	0.6	120.1	17.9	75.1	8.4	66.7	6.5	12.4
2014-226	0.45	Меланократовый базальт	16.12	2.66	25.72	0.3	49.9	15.9	41.2	6.0	-	-	-
2001-162	2.00	Крупнозернистое габбро	12.76	2.89	15.43	0.2	53.4	14.3	48.2	4.9	-	-	-
2003-236	2.25	Крупнозернистый порфировидный базальт	12.57	2.52	21.86	0.4	36.6	10.9	33.6	4.7	-	-	-
2001-5-137	0.49	Тонкозернистая темно-серая порода	18.81	2.66	8.36	2.5	67.0	17.4	52.3	4.7	64.1	5.7	11.4
Группа III. (VLT-LT)													
2003-5-086	1.04	Среднезернистая коричневатая порода	13.06	1.48	10.29	0.3	59.3	4.4	15.9	2.9	15.6	1.7	3.4
2003-235	3.35	Среднезернистый базальт	12.64	2.32	16.72	0.1	33.7	7.9	19.8	2.0	-	-	-
2003-5-091	1.05	Тонкозернистая темно-серая порфировидная порода	11.79	1.71	18.00	0.9	34.4	8.6	23.7	2.8	25.1	2.8	5.5
2003-020.4	3.10	Среднезернистое меланократовое габбро	10.85	2.39	20.58	1.5	40.7	7.7	15.1	1.8	-	-	-

Таблица 5. Содержание редких элементов в морских базальтах "Луны-16", мкг/г

№ образца	Вес, мг	Описание образца	Rb	Sr	Y	Zr	Nb
Группа 1. Очень низкотитанистые и низкотитанистые базальты (VLT-LT)							
1635-129	0.25	Темно-серый тонкозернистый афанитовый базальт	0.2	49.3	9.9	36.2	2.7
1635-133	0.20	Черный афанитовый базальт	1.3	67	15	51	6.5
1635-136	0.25	Темно-серая тонкозернистая афанитовая порода	1.0	85.2	16.7	54.4	8.7
1635-138	0.75	Светло-коричневая мелкозернистая порода	2.1	86.6	19.2	62.6	8.7
1635-116	0.30	Серая тонкозернистая однородная порода	0.3	98.2	18.6	56.9	11.1
1635-134	0.90	Коричневато-серая афанитовая порода	0.4	114.5	17.8	59.9	6.5
1635-115	0.85	Серая среднезернистая кристаллическая порода	2.1	126.9	19.4	72.6	8.1
Группа 2. Титанистые породы (Т)							
1635-135	0.60	Темно-серый тонкозернистый афанитовый базальт	1.4	102.6	22.5	79.8	7.5
1635-130	0.60	Темно-серый тонкозернистый базальт	1.2	104.4	27.6	94.9	10.8
1635-126	0.25	Темно-серый до черного базальт	0.7	141.4	28.5	104.1	6.4
1635-131	0.60	Черный афанитовый базальт	2.0	138.4	29.8	106.6	7.9
1635-137	0.55	Светло-коричневая везикулярная	1.3	144.2	30.4	111.4	13.7
1635-132	0.90	Черный афанитовый базальт	0.5	154.1	34.3	126.8	7.4
1635-128	0.40	Темно-серый мелкозернистый базальт	1.4	163.3	36.7	127.5	7.6
1635-127	0.35	Темно-серый мелкозернистый базальт	0.9	173.3	31.1	123.6	10.1
1635-139	0.45	Стекло пэристое коричневатое	0.9	178.8	38.3	144.0	14.8
Группа 3. Титанистые породы (Т)							
1635-123	0.55	Мелкозернистый оливнипорфировый темно-серый базальт	0.4	233.5	42.8	158.6	9.5
1635-122	0.55	Темно-серый мелко-среднезернистый базальт	0.2	262.1	45.0	169.3	7
1635-120	1.35	Среднезернистый базальт	0.8	294.6	50	175.4	7.4
1635-124	0.95	Мелко-среднезернистый оливнипорфировый базальт	0.3	337.7	69.4	267.4	9.5
1635-125	1.10	Темно-серый тонкозернистый базальт	1.1	318.8	56	231.8	9.7
1635-121	1.45	Среднезернистый базальт	2.0	401.5	73	258.6	12.6
Группа 4. Предположительно высокотитанистый базальт (НТ)							
1635-119	0.30	Серо-коричневый крупнозернистый базальт	0.1	230.6	79.2	329.8	12.4

Морские базальты "Луны-20".

Отдельные фрагменты базальтов морского типа в свое время были найдены нами в пробе материкового грунта "Луны-20" [24, 25] из района Аполлоний, расположенном на материковом перешейке, разделяющем Море Изобилия "Луна-16" и Море Кризисов "Луна-24". Как отмечалось во введении, эти морские породы из пробы материкового грунта "Луны-20" привлекли особое внимание тем, что первые геохимические исследования [8, 9, 18] установили их принадлежность к типу VLT (или, как было уточнено позднее [10], к переходному VLT-LT типу пород) и возраст более древний (3.91 млрд. лет [13]), чем возраст морских пород Луны, и, прежде всего, возраст VLT базальтов "Луны-24" (3.24-3.53 млрд. лет [23]) и титанистых базальтов (Т) "Луны-16" (3.35-3.45 млрд. лет [13]). Поэтому специально подобранная серия базальтов "Луны-20" была изучена и ИНАА, и РФА-СИ методами.

По петрохимическим данным среди морских базальтов "Луны-20" выделены три группы пород (группы I, II, III). Один фрагмент представлен высокотитанистым (НТ) базальтом (табл. 4, рис. 5). В табл. 4 включены образцы, изученные обоими методами.

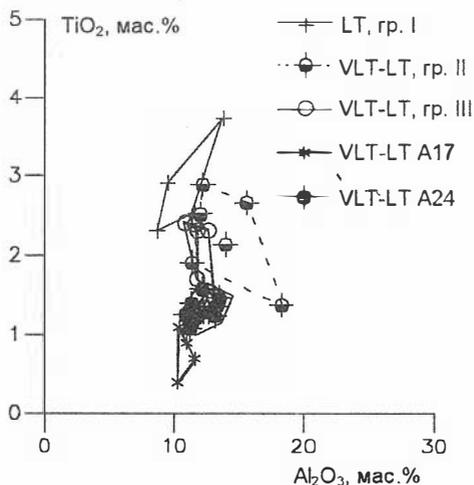


Рис.4. Петрохимические группы морских базальтов различных станций "Луна" и "Аполлона-17" в координатах TiO_2 - Al_2O_3 . Условные обозначения, представленные на рисунке действительны и для рис. 5, 8-15.

На рис. 4 показаны точки, всех образцов, изученных ИНАА (их немало больше).

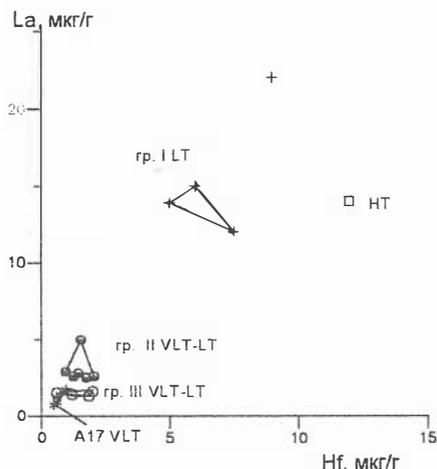


Рис. 5. Геохимические группы морских базальтов станции "Луна-20" в координатах La-Hf по данным ИНАА.

Группа I петрохимически близка низкотитанистым (LT) базальтам по содержанию TiO_2 - 2.32 — 3.74 мас. % (рис. 4), положению точек на графике La-Hf (рис. 5), а также уровням содержаний РЗЭ и характером их фракционирования (рис. 6). Из группы I, включающей 4 образца, изученные ИНАА, лишь один был проанализирован РФА-СИ. Он должен быть отнесен к LT базальтам, судя по содержанию TiO_2 2.49 мас. % и по типу спектра РЗЭ (рис. 6). По содержаниям стронция, иттрия и циркония этот базальт также отличается от базальтов других групп (II и III) "Луны-20" (табл. 4, рис. 5).

Пределы содержаний TiO_2 для группы II - 1.38—2.89 мас. % и для группы III - 1.48—2.41 мас. % (рис. 4). Отсюда следует, что группы II и III могут быть отнесены к переходному типу от очень низкотитанистых к низкотитанистым базальтам, то есть к VLT-LT типу. Этот тип базальтов - новый для лунных пород, отличающийся по геохимическим характеристикам от типичных VLT базальтов, но близких по этим параметрам к LT базальтам. Правомочность его выделения подчеркивается данными по содержаниям редких элементов (например, La-Hf, рис. 5) и уровнем содержаний и характером спектров РЗЭ (рис. 6). Необходимость разделения групп II и III, несмотря на близость интервалов содержаний TiO_2 , следует из различия положений их точек на графике La-Hf (рис. 5) и также из различия спектров РЗЭ (рис. 6). Для группы II характерен низкий уровень содержаний РЗЭ (C/C_1 - 20-30), четкий Eu минимум и, в основном, куполовидный облик спектров, то есть без заметной дифференциации легких и тяжелых РЗЭ (C/C_1 - содержание элемента, нормированное на содержание его в метеоритах - углистых хондритах типа C1). Группа II достаточно однородна и, хотя по уровню содержаний РЗЭ соответствует базальтам "Луны-24", по типу спектров РЗЭ отличается от них (рис. 6 и 7). Группа III имеет очень четкий положительный наклон спектров РЗЭ (обогащение тяжелыми РЗЭ), а также хорошо выраженный Eu минимум и наиболее низкий уровень содержаний РЗЭ ($C/C_1 = 2-4$ для La и ~ 10 для Lu) среди всех морских

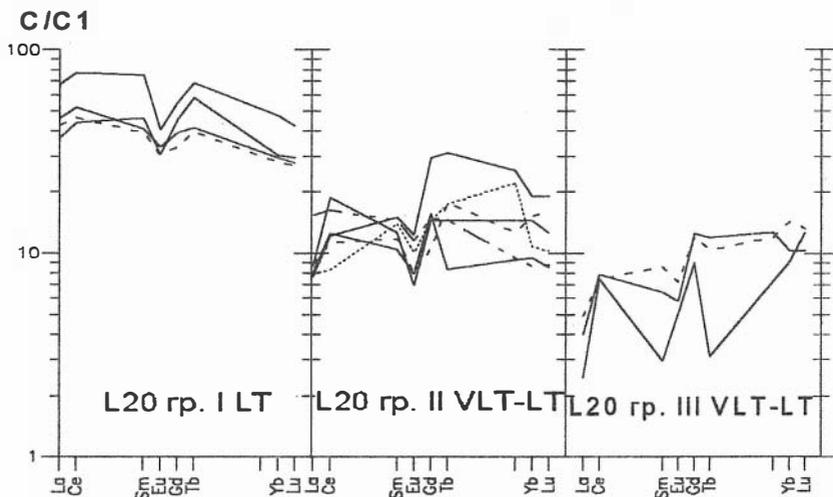


Рис. 6. Спектры РЗЭ для различных групп морских базальтов "Луны-20".

C/C1

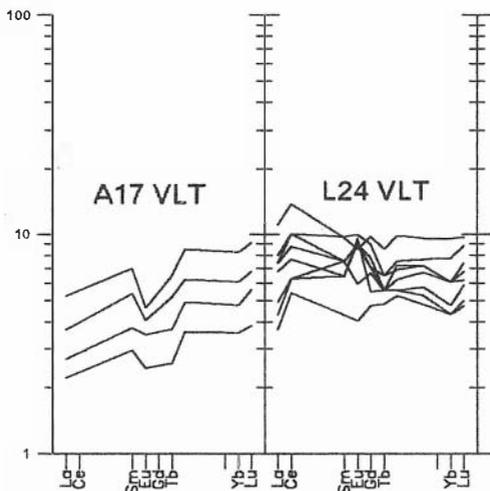


Рис. 7. Спектры РЗЭ для морских базальтов типа VLT ("Луна-24 и "Аполлон-17").

районов восточной окраины Луны. Эти спектры РЗЭ ближе всего по типу к спектрам VLT базальтов "Аполлона-17" [1], а не "Луны-24" (рис. 6 и 7).

Группы II и III морских базальтов "Луны-20" хорошо различаются между собой также по содержаниям иттрия, циркония и ниобия, что видно на графике Zr—Sr (рис. 8) и в табл. 4. Обе они принадлежат к типу VLT-LT, судя по содержанию TiO_2 (табл. 4): и в группе II и в группе III часть образцов имеют содержание TiO_2 на уровне LT базальтов, а часть - на уровне VLT базальтов. Содержания рубидия, стронция, иттрия, циркония и ниобия находятся на уровнях, соответствующих VLT породам (табл. 4), что хорошо видно из сопоставления их с данными для "Луны-24" (табл. 3 и рис. 3). Это еще раз подтверждает переходный характер VLT-LT пород.

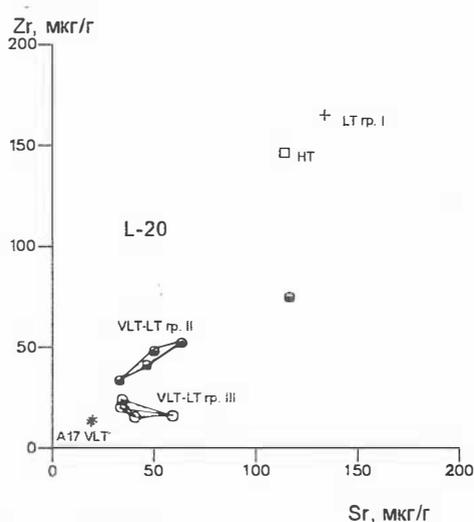


Рис. 8. График Zr-Sr для различных групп морских базальтов "Луны-20".

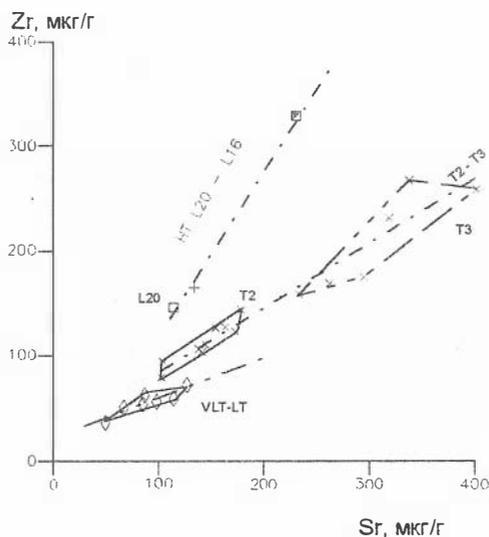


Рис. 9. График Zr-Sr для различных групп морских базальтов "Луны-16".

Морские базальты "Луны-16".

Базальты "Луны-16" изучались многими авторами (например [26]) и было доказано, что в основной массе они принадлежат к титанистым (Т) базальтам. К сожалению, для новой серии базальтов "Луны-16", изученной РФА-СИ (табл. 5), нет данных ИНАА. Однако, сопоставление новых данных РФА-СИ с более ранней нашей работой [18], для серии пород которой было проведено выборочное определение TiO_2 ИНАА методом, хорошо подтверждает, что и в новой серии, судя по данным РФА-СИ, преобладают титанистые базальты (табл. 5, группы 2 и 3, рис. 9). Но кроме них в этой серии пород по уровням содержания редких элементов установлены аналоги VLT-LT базальтов "Луны-20" (сравните группу I в табл. 5 и группы II и III в табл. 4). Присутствует также одиночный высокотитанистый базальт (НТ) (табл. 5, рис. 9). Эти данные подтверждают, что оценка петрохимического типа пород может быть проведена на основе данных РФА-СИ.

Наличие VLT-LT базальтов в пробе "Луны-16" расширяет область их распространения: район Аполлоний, район Моря Изобилия и, возможно, Море Кризисов.

Сопоставление данных по трем станциям.

Сопоставляя графики Zr-Sr (рис. 3, 8, 9) для трех станций серии "Луна" (рис. 10), можно увидеть, что в зависимости от степени титанистости, точки и контура на этом графике образуют пучок сходящихся в сторону начала координат прямых линейных регрессий: наиболее пологая линия образована точками базальтов VLT "Аполлона-17" - VLT "Луны-24" - VLT-LT III группы "Луны-20"; близки к ним линии VLT-LT группы II "Луны-20" и VLT-LT группы I "Луны-16"; несколько круче направлена прямая регрессии титанистых базальтов "Луны-16" (Т 2 - Т 3 "Луны-16"), а наиболее крутая линия связывает одиночные точки высокотитанистых (НТ) базальтов "Луны-20" и "Луны-16".

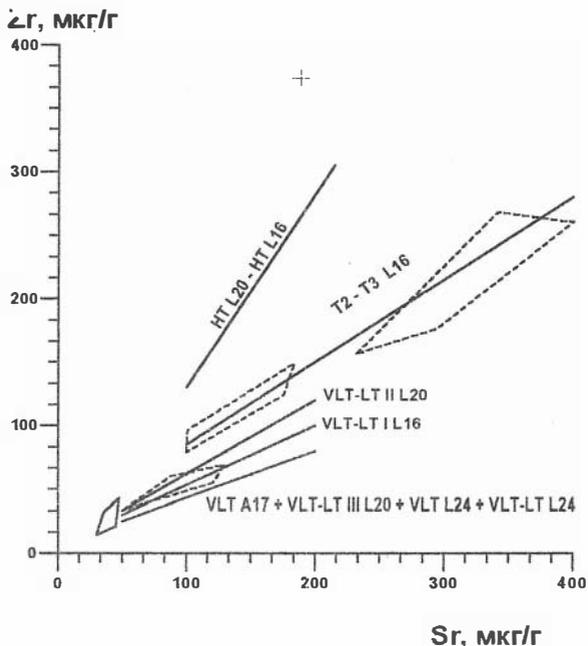


Рис. 10. Сводный график Zr-Sr (на основании рис. 3, 8, 9) для морских базальтов различных типов. Показаны контура различных типов пород и соответствующие им линии регрессии.

Таким образом, можно полагать, что для каждого типа пород существовал свой тип магм и с повышением титанистости, как правило возрастало соотношение Zr/Sr в них, определяемое углом наклона соответствующей линии регрессии. Можно полагать, что углы наклона линии регрессии, построенных по данным РФА-СИ, соответствуют соотношению коэффициентов распределения K_d^{Zr} и K_d^{Sr} в выплавляющихся магмах. Очевидно, что для каждого из типов магм VLT, VLT-LT, T и HT - это соотношение различно и поддерживается петрологической системой свойственной для каждого типа пород. Установление этого факта - важный шаг в познании геохимии и петрологии лунных базальтов. Необходимо отметить, что группа III VLT-LT "Луны-20" по распределению иттрия, ниобия и циркония значительно ближе к собственно VLT базальтам, чем к VLT-LT городам.

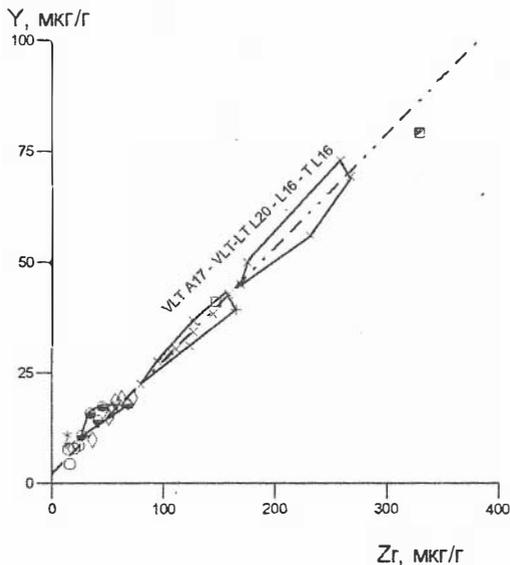


Рис. 11. График Y-Zr для морских базальтов различных типов.

Для графика Y-Zr (рис. 11) картина более простая - отмечается единая линия регрессии для всех перечисленных типов пород. Это понятно, так как оба эти элемента на относительно поздних этапах кристаллизации геохимически довольно близки между собой и коэффициенты распределения их в ходе кристаллизации изменяются одинаково (и соответственно мало меняются их соотношения), чего нельзя сказать о паре Zr-Sr, где стронций может в большей степени тяготеть к лейкократовой части пород, а цирконий - к меланократовой.

На графике Nb-Zr (рис. 12) отмечается, так же как и на графике Zr-Sr, близость групп VLT "Аполлона-17" и VLT-LT (группа III) "Луны-20", а также групп VLT-LT II "Луны-20" и VLT-LT I "Луны-16". Однако для двух групп базальтов "Луны-16" отмечается рост содержания только циркония, но не ниобия, что, возможно, сохраняется и для НТ базальтов "Луны-16". В то же время для НТ базальтов "Луны-20" тенденция накопления и ниобия и, в некоторой степени циркония, сохраняется в той же мере как и для VLT-LT пород.

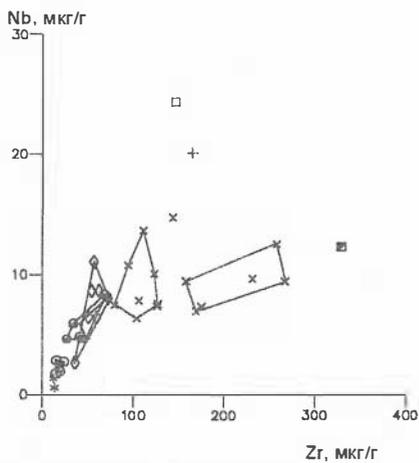


Рис. 12. График Nb-Zr для морских базальтов различных типов.

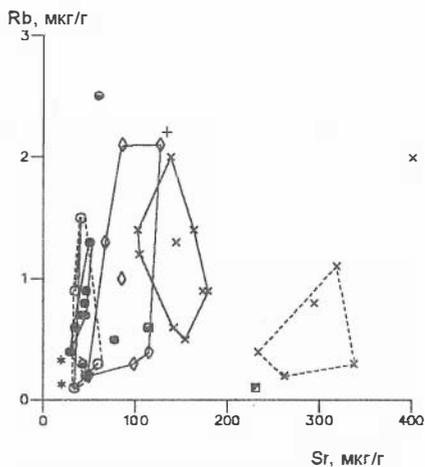


Рис. 13. График Rb-Sr для морских базальтов различных типов.

На графике Rb-Sr (рис. 13) видно, что высокая вариация содержания рубидия сохраняется практически для всех выделенных групп, что делает рубидий неудобным элементом для установления тонких геохимических закономерностей.

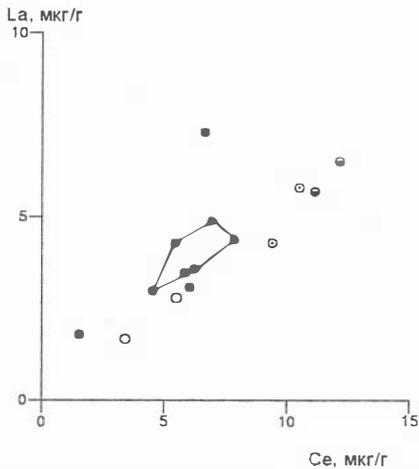


Рис. 14. График La-Ce для морских базальтов различных типов.

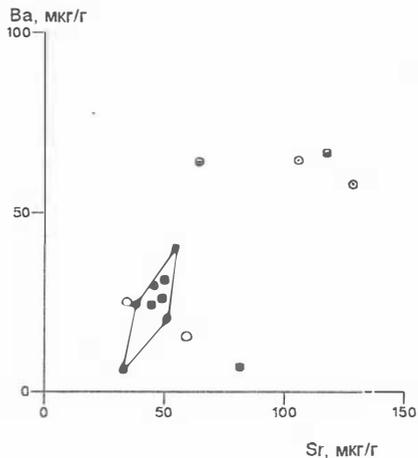


Рис. 15. График Ba-Sr для морских базальтов различных типов.

Для Ba, La, Ce в виду небольшого числа данных (рис. 14 и 15) можно говорить только о возможном сохранении ранее отмеченных тенденций различий между группами пород для "Луны-20" и относительном подобии в распределении этих элементов для базальтов VLT "Луны-24" и VLT-LT III "Луны-20".

Выводы

1. Помимо VLT базальтов в результате комплексного исследования (РФА-СИ и ИНАА) лунных базальтов из восточной окраины видимой стороны Луны изучены породы переходного VLT-LT типа, распространенные в районе Аполлоний, Моря Изобилия и, возможно, в Море Кризисов. Эти породы, видимо, достаточно широко распространены в этом районе Луны.

Более того, судя по земной телескопической спектро-зональной съемке Луны, распространенность базальтов с содержанием TiO_2 менее 1.5% достаточно может быть велика в области северных морей Луны [27, 28, 29]. Таким образом, оба эти типа пород (VLT и VLT-LT) могут быть существенным компонентом

лунной коры в разных ее районах. Это подчеркивает важность данной работы.

2. Судя по геохимическим данным (низкие содержания редких элементов, примитивность спектров РЗЭ, обособленное положение групп точек на графиках Zr-Sr и др.) VLT и VLT-LT имеют генезис, отличный от генезиса других морских базальтов.
3. Перечисленные критерии позволяют думать, что в условиях частичного плавления в недрах Луны источниками этих магм должны быть породы также уже ранее обедненные некогерентными редкими элементами и выплавление незначительно изменило их исходные содержания. Это указывает на значительную долю выплавленных пород по отношению к общему объему пород, захваченных этим процессом.
4. Такая характеристика источников выплавления VLT и VLT-LT пород, говорит о том, что они должны были уже ранее подвергаться дифференциации и на время выплавления представляли собой реститовые (остаточные) образования.
5. Таким образом, VLT и VLT-LT породы являются результатом многоэтапных процессов эволюции, принадлежат к дифференцирующим реститовым системам и важной особенностью их, видимо, является долговременное функционирование таких источников: судя по геологическим данным, некоторые VLT базальты Моря Ясности ("Аполлон-17") имеют возраст более 4.0 млрд. лет, а другие моложе [1], один из VLT-LT базальтов "Луны-20" - 3.91 млрд. лет [13] и, наконец, базальты "Луны-24" занимают широкий интервал от 3.54 до 3.25 млрд. лет [23].
6. По совокупности данных можно говорить, видимо, о двух типах VLT-LT пород (группа II и группа III базальтов "Луна-20"), а также о двух типах VLT пород (типы "Аполлон-17" и "Луны-24"), что хорошо видно по представленным геохимическим графикам.
7. Показано существование постоянства линий регрессии для пар элементов Zr-Sr в породах различной титанистости. Это указывает на стабильность физико-химических условий в ходе вы-

плавления магм данной степени титанистости (в отношении указанной пары элементов).

8. Интересно, что некоторые метеориты, собранные в Антарктиде, содержат фрагменты типа VLT базальтов [30, 31]. Их считают лунными метеоритами, т.е. переброшенными с поверхности Луны. По петрологическим свойствам они действительно очень похожи на VLT базальты Луны. Учитывая возможность этого, настоящее исследование представляет большой интерес для предстоящей геохимической проверки подобной гипотезы.
9. Показана особенно важная роль исследований с помощью РФА-СИ лунных пород, для которых неизбежным фактором является малая масса изучаемых образцов и в ряде случаев очень низкие содержания изучаемых элементов. Это, в частности, относится к объектам настоящего исследования. Не менее важно, что среди изученных элементов представлены трудно определяемые другими методами или такие как иттрий, который вообще не определяется ИНАА методом.
10. Настоящая работа продемонстрировала успешное сочетание РФА-СИ и ИНАА методов применительно к изучению таких уникальных и сложных объектов как фрагменты лунных пород.
11. Авторы считают своим приятным долгом поблагодарить А.Н. Скринского и Г.Н. Кулипанова за большое внимание и постоянную поддержку этой работы, а А.Ф. Соседко и Ю.Г. Шипицина за большую помощь при выполнении анализов нейтронно-активационным методом. Финансовая поддержка для А.А. Ульянова осуществлялась частично за счет гранта РФФИ N 96-05-65144.

Литература

1. Wentworth S, Taylor G.J., Warner R.D., Keil K., Ma M.-S., Schmitt R.A. The unique of Apollo 17 VLT mare basalts. - Proc. Lunar and Planet. Sci. Conf. 10th (1979) 207.
2. Mare Crisium: the view from Luna 24. - Proc. Conference on Luna 24. Houston, Texas, December 1-3, 1977. Pergamon Press, 1978.
3. Лунный грунт из Моря Кризисов. Сборник. - "Наука", 1980.

4. Барышев В.Б., Иванов А.В., Кудряшова А.Ф., Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н., Тарасов Л.С., Ульянов А.А., Ярошевский А.А. Элементный анализ внеземного вещества с использованием синхротронного излучения. - Труды VI Всесоюзного совещания по использованию синхротронного излучения СИ-84. Новосибирск, 1984, с. 332.
5. Tarasov L.S., Kudryashova A.F., Ulyanov A.A., Baryshev V.B., Kulipanov G.N., Skrinisky A.N. XFA-SR for the analysis of elements of lunar rocks and meteorites. - Lunar Planetary Sciences XVI, 1985, p. 851, Houston, USA.
6. Тарасов Л.С., Кудряшова А.Ф., Барышев В.Б., Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н. Применение метода рентгенофлуоресцентного анализа с использованием синхротронного излучения к исследованию лунного вещества. Препринт 88-82, ИЯФ СО АН СССР, Новосибирск, 1988, 30 стр.
7. Tarasov L.S., Kudryashova A.F., Kolesov G.M., Mashtalka A., Frana J. Titanium and VLT basalts of Luna 16 and Luna 24: geochemical comparison. - Lunar Planetary Sciences XVI, 1985, p. 849, Houston, USA.
8. Tarasov L.S., Kudryashova A.F., Baryshev V.B., Kulipanov G.N., Skrinisky A.N. VLT basalts from Apollonius Highland region: geochemical identification. - Lunar Planetary Sciences XVII, 1986, p. 871, Houston, USA.
9. Tarasov L.S., Kudryashova A.F., Bobrov V.A., Vertman E.G., Sudyko A.F., Shipizyn Yu. G. Mare basalts from the highland region: petrochemical varieties and geochemical features (Luna 20). - Lunar Planetary Sciences XIX, 1988, p. 1179, Houston, USA.
10. Tarasov L.S., Kudryashova A.F., Semenova A.S., Baryshev V.B., Zolotarev K.V. Geochemical identification of VLT-LT basalts from Mare Fecunditatis and Apollonius region. - Lunar Planetary Sciences XX, 1989, p. 1105, Houston, USA.
11. Semenova A.S., Tarasov L.S., Kononkova N.N., Solovieva N.V. VLT-LT basalts of Luna 16 and Luna 20: petrography, mineralogy and petrogenesis. - Lunar Planetary Sciences XX, 1989, p. 928, Houston, USA.
12. Tarasov L.S., Kudryashova A.F., Ulyanov A.A., Baryshev V.B., Bobrov V.A., Shipizyn Yu. G., Vertman E.G., Sudyko A.F. Geochemical identification of mare-type basalt groups from a lunar highland region (by INAA and SRXFA). - Nucl. Instrum. Method, 1989, A282, p. 669.

13. Fugsan M.M., Dang Vu Minh, Tarasov L.S., Shukolukov Yu. A. ^{40}Ar - ^{39}Ar age of lunar basalt and anorthositic rocks. - Lunar Planetary Sciences XVI, 1985, p. 256, Houston, USA.
14. Барышев В.Б., Колмогоров Ю.П., Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н. Рентгенофлуоресцентный элементный анализ с использованием жесткого рентгеновского излучения ВЭПП-4. - Труды VI Всесоюзного совещания по использованию синхротронного излучения СИ-84. Новосибирск, 1984, с. 324.
15. Барышев В.Б., Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н. Рентгенофлуоресцентный элементный анализ с использованием синхротронного излучения. - Препринт 86-26 ИЯФ СО АН СССР, Новосибирск, 1986.
16. Барышев В.Б., Колмогоров Ю.П., Кулипанов Г.Н., Скринский А.Н. Рентгенофлуоресцентный элементный анализ с использованием синхротронного излучения. - Журнал аналитической химии, 1986, т. 41, с. 389.
17. Baryshev V.B., Kulipanov G.N., Zaytsev E.I., Terekhov Ya.V., Kalyuzny V.I. Sensitive X-ray fluorescence analysis of geological samples using synchrotron radiation. - Nucl. Instrum. Method, 1987, A261, p. 279.
18. Tarasov L.S., Kudryashova A.F., Ivanov A.V., Ulyanov A.A., Baryshev V.B., Kulipanov G.N., Skrinksky A.N. Geochemistry of trace elements in the extraterrestrial matter examined by the X-ray fluorescence method with synchrotron radiation. - Nucl. Instrum. Method, 1987, A261, p. 263.
19. Tarasov L.S., Kudryashova A.F., Ulyanov A.A., Baryshev V.B., Zolotarev K.V. Geochemistry of rare elements in lunar basalt rocks based on SRXFA. - Nucl. Instrum. Method, 1989, A282, p. 677.
20. Kudryashova A.F., Tarasov L.S., Ulyanov A.A., Baryshev V.B. Some methodical peculiarities of analysis of small-mass samples by SRXFA. - Nucl. Instrum. Method, 1989, A282, p. 673.
21. Govindaraju K. 1984 Compilation of working values and descriptive data for 170 international reference samples of mainly silicate rocks and minerals. - Geostandards News Letter. 1984, v. 8, Special Issue (July, 1984).
22. Бобров В.А., Кудряшова А.Ф., Тарасов Л.С., Пархоменко В.С. Инструментальный нейтронно-активационный анализ реголита "Луны-24", облученного надтепловыми нейтронами. - В сб. "Полупроводниковая спектроскопия в геологии и геохимии". 1983, с. 59, "Наука", Новосибирск.

23. Fugsan M.M., Dang Vu Minh, Tarasov L.S., Kolesov G.M., Shukolukov Yu. A. 40Ar-39Ar age of lunar rock from Mare Crisium. - Lunar Planetary Sciences XV, 1984, p. 278, Houston, USA.
24. Тарасов Л.С., Флоренский К.П., Иванов А.В., Родэ О.Д. Морфологические особенности и типы частиц реголита, доставленного автоматической станцией "Луна-20" из материкового района Луны. Геохимия, 1973, 9, с. 1275.
25. Тарасов Л.С., Гавердовская А.С., Кудряшова А.Ф. Петрохимия лунных пород из района Аполлоний и Моря Изобилия. - В сб. "Лунный грунт из материкового района Луны", "Наука", 1979, с. 119.
26. Лунный грунт из Моря Изобилия. - "Наука", 1974.
27. Pieters C., McCord T.B. Characterisation of lunar mare basalt types: I. A remote sensing study using reflection spectroscopy of surface soil. - Proceed. Lunar Sci. Conf. 7-th, 1976, p. 2677.
28. Pieters C. Mare basalt types on the front side of the Moon: a summary of spectral reflectance data. - Proceed. Lunar Sci. Conf. 9-th, 1978, p. 2825.
29. Johnson T.V., Mosher J.A., Matson D.T. Lunar spectral units: a northern hemispherical mosaic. - Proceed. Lunar Sci. Conf. 8-th, 1977, p. 1013.
30. Treimn A.N., Drake M.J. Origin of lunar meteorite ALHA 81005; clues from the presence of terrae clasts and very low-titanium mare basalt clast. - Geophys. Res. Lett., 1983, v. 10, p. 783.
31. Goodreech C.A., Keil K. Mare basalt and other clasts in Yamato lunar meteorites Y-791197, -82192, and -82193. Memoirs National Institute Polar Research (Proceed. 11-th Symp. Antarctic Meteorites, 1986), Spec. Issue, 1987, v. 46, p. 56.

*Л.С. Тарасов, А.Ф. Кудряшова, А.А. Ульянов,
В.А. Бобров, Е.Г. Вертман, В.Б. Барышев,
К.В. Золотарев*

**Совместное использование
РФА и ИНАА методов
для геохимической характеристики
базальтов восточной окраины Луны**

ИЯФ 96-42

Ответственный за выпуск А.М. Кудрявцев

Работа поступила 28.12. 1994 г.

Сдано в набор 4.07.1996 г.

Подписано в печать 4.07.1996 г.

Формат бумаги 60×90 1/16 Объем 2.7 печ.л., 2.3 уч.-изд.л.

Тираж 250 экз. Бесплатно. Заказ № 42

Обработано на IBM PC и отпечатано на
роталпринте ГНЦ РФ "ИЯФ им. Г.И. Будкера СО РАН",
Новосибирск, 630090, пр. академика Лаврентьева, 11.