

В. И. ВЛОДАВЕЦ

РАССЕЯННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПРОДУКТАХ

Сотрудники Камчатской вулканологической станции и затем Лаборатории вулканологии Академии наук СССР с первых своих работ начали изучение рассеянных элементов в вулканических продуктах. Их изучали В. И. Влодавец, Л. Г. Кваша, С. И. Набоко, А. А. Меняйлов и Н. Н. Шаврова, при участии С. А. Боровика, Ф. М. Дитерихса, А. Е. Святловского и К. Шкурко.

На своем материале, а также материале других наших сотрудников, в частности Б. И. Пийпа и Т. Ю. Маренипой, названные выше сотрудники пытались в той или иной мере выявить закономерности нахождения и распространения рассеянных элементов, их миграции и связь с определенными минералами.

Сначала вопрос о рассеянных элементах и их распространении связывался с изучением только состава фумарольных минералов, затем начали изучать лавы с точки зрения связи их состава с кислотностью и с точки зрения последовательного изменения состава лав с возрастом.

Рассеянные элементы изучались, главным образом, на камчатском материале. Кроме того, было произведено изучение кавказского вулкана Кабарджина и начато изучение вулканических образований Монголии.

Все эти исследования были отчасти отрывочными, попутными и, хотя и сделаны только первые шаги в изучении рассеянных элементов в вулканических продуктах, на материалах вышеупомянутых мест, можно сделать некоторые выводы. В данной работе использованы сведения, приведенные в статьях списка «литература», а также материалы автора по Семейским группам вулканов.

Имеющиеся данные по рассеянным элементам для более легкого сопоставления сведены в ряд таблиц, в которых количественные содержания различных элементов обозначены условными цифрами-индексами, обозначающими плотность — толщину — интенсивность спектральных линий. Эти условные цифры в таблицах обозначают:

- | | |
|----------------------------|----------------------------|
| 0 — не обнаружены линии; | 6 — средние линии; |
| 1 — ничтожные следы линий; | 7 — слабые сильные линии; |
| 2 — следы линий; | 8 — сильные линии; |
| 3 — очень слабые линии; | 9 — очень сильные линии; |
| 4 — слабые линии; | 10 — весьма сильные линии; |
| 5 — слабые средние линии; | x — присутствует. |

При переводе этих условных цифр на процентное содержание элементов, необходимо учитывать разную чувствительность различных элементов. Таким образом, эта шкала соответствует различным (для каждого отдельного элемента или для групп элементов) количественным значениям.

Бериллий, молибден и свинец обнаружены в 9—10 породах.

В единичных случаях определены: скандий только в минералах и в фумарольных минералах (в трех образцах).

Цинк — только в породах Кабарджипа, в конденсированном паре и в горячих источниках.

Серебро — в лавах и в фумарольных минералах.

Кадмий — только в фумарольных минералах.

Олово — в лавах (в одном образце) и в фумарольных минералах.

Ртуть — только в фумарольных минералах.

Мышьяк — в лавах (в одном образце), в фумарольных минералах и газах.

Сурьма, висмут и уран — в лавах и фумарольных минералах.

Литий и рубидий определялись только в породах Кабарджипа, в других породах они не определялись.

Рассеянные элементы находятся в одинаковых количествах как в различных горных породах, так и на разных территориях.

Выделяются своим относительно повышенным содержанием:

б е р и л л и я (2)* — некоторые дациты Карымской группы вулканов;

Не давая в настоящей статье глубокого анализа данных, помещенных в нижеследующих таблицах, следует, однако, на основании этих сведений сделать некоторые выводы.

В табл. 1 приведены рассеянные элементы, содержащиеся в лавах, сгруппированные по горным породам отдельных вулканов (Шевелуч, вулкан Заварицкого, Кипчоклок и Хангар на Камчатке и Кабарджип на Кавказе) и отдельных вулканических районов (Ключевская группа вулканов, Харчинский и Заречный вулканы, Семячинские группы вулканов, Карымская группа вулканов, Срединный хребет, Южно-Быстринский хребет на Камчатке и некоторые районы Монголии).

В этих породах обнаружены: Li, Rb, Be, Sr, Ba, Sc, Zr, V, Cr, Co, Ni, Mo, Cu, Zn, Ga, Ag, Cd, Sn, Hg, Pb, As, Sb, Bi, U.

Из них стронций обнаружен во всех образцах.

Во всех образцах, кроме одного, обнаружены барий, ванадий, медь.

Во всех породах (но не во всех образцах) обнаружены стронций, барий, медь, галлий.

Ванадий обнаружен во всех породах, кроме обсидиана.

Хром и никель обнаружены во всех породах, кроме хангарских липарито-дацитов и южно-быстринских порфиритов.

стронция (10) — породы Семейных вулканов (за исключением андезитов), вулканические породы Среднего хребта и вулкана Кинчоклок, а из них особо повышенным содержанием отличаются некоторые дациты Семейных групп вулканов;

бария (9) — породы Семейных вулканов (за исключением базальтов), породы Среднего хребта, Кинчоклока, Хангара и некоторые порфириды Южно-Быстрицкого хребта, а из них особо повышенным содержанием отличаются некоторые андезиты и дациты Семейных вулканов;

циркония (6) — некоторые андезито-базальты, андезиты и дациты Семейных вулканов, базальт и андезито-базальты Среднего хребта и андезит Кинчоклока, а из них некоторые андезито-базальты и андезиты Семейных вулканов отличаются особо повышенным содержанием;

ванадия (8) — породы Семейных вулканов (за исключением риолито-дацитов), базальты и андезито-базальты Среднего хребта и андезит Кинчоклока, а из них особо повышенным содержанием отличаются некоторые андезито-базальты, андезиты и дациты Семейных вулканов;

хрома (8) — некоторые андезито-базальты Ключевской группы вулканов, все породы Семейных вулканов (за исключением дацитов), базальт Карымской группы вулканов; некоторые андезито-базальты Семейных вулканов отличаются особо повышенным содержанием;

кобальта (4) — базальт и андезито-базальт Карымской группы вулканов и некоторые базальты Среднего хребта;

никеля (9) — некоторые андезито-базальты Семейных вулканов и Среднего хребта и базальт Кабарджина, причем последний отличается особо повышенным содержанием;

молибдена (3) — повышенным содержанием отличаются некоторые породы Карымской группы вулканов.

меди (8) — породы Семейных вулканов (за исключением дацита) и андезит Кинчоклока, а из них андезито-базальт Семейных вулканов отличается особо повышенным содержанием;

галлия (4) — некоторые андезито-базальты Ключевской группы вулканов, некоторые андезиты Швелуча, некоторые андезито-базальты Семейных вулканов и породы Карымской группы вулканов, а из них андезито-базальты и обсидиан последней группы отличаются особо повышенным содержанием;

свинца (4) — породы Карымской группы вулканов.

Таким образом, некоторые лавы этих местонахождений содержат в себе повышенное содержание упомянутых рассеянных элементов.

Рассеянные элементы, содержащиеся в лавах, сгруппированные по отдельным вулканическим районам и расположенные в хронологической последовательности, приведены в табл. 2.

Данные табл. 2 позволяют отметить следующие характерные особенности.

Для Ключевской группы вулканов

Стронций. В относительно более древних лавах количество его значительно, и оно почти не изменяется в связи с возрастом и кислотностью лав. В последних же излияниях стронция сначала немного, а затем количество его увеличивается и в лаве излияния 1946 г., несмотря на то, что она является наиболее основной по сравнению со всеми предыдущими, содержание стронция увеличивается до максимального значения его в относительно более древних лавах.

Рассеянные элементы в лавах, расположенных в возрастной последовательности

Элементы	Ключевская группа вулканов														Карымская группа вулканов				Группа Центрального Семячика				Группа Малого Семячика											
	р. Сопочная	р. Крутевская	Подкова — р. Сопочная	Лавовый лиш	Левашова — Сопочная	Ю. В. р. Сопочной	Кратер О	Главный кратер Ключевской	Киргурчи	Козей	Тиранус	Блюхой	Блюхой	Юбилейный последний поток	Апахончич	Двор	Двор	Район Карымского вулкана	Карымский вулкан	Проблематичный	Полукупол	Купол «Со щитом»	Купол «С пемзой»	Купол Крутой	Купол Скалистый	Стена	Ступенчатый бастион	Конус Южный	Лавовый поток					
SiO ₂	51,62	52,90	57,34	56,70	52,02	53,45	53,43	53,21	51,51	53,93	53,17	52,08	53,08		50,10	53,52	56,96	71,45	67,57	64,60	63,16	61,98	63,28	60,22	59,91	57,16	57,88	49,48	55,32	52,39	53,86			
Год									1932			1968			1945	1946					1934	1935												
Be																	2					1—												
Sr	4	4	4	4	3	3	4	4	3	1—	1—	2	2	5	4	4	4	3	4	3	4	4	5	7	8	6	7	4	4	8				
Ba	3	5	5	5	3	4	6	3	3	1—	1—	2	2	6	4	3	4	4	4	6	5	5	6	7	8	6	4	6	6	8				
Sc																																		
Zr	2	1	3	3	2	2	2	1	3				1	3			2	4	3	3	6	5	3	3	4	2	2	6						
V	5	5	5	4	4	4	4+	2	3	4	4	4	2	3	4	5	5	3	4	3	8	6	2—	4	5	7	6	6	4	8				
Cr	3	2	5	1	5	5	2	2	3	4	4	4	2	1	4—	5	4	1	2	1			4	2	1	6	6	6	6	8				
Co		2	1		1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	4	4	3	3	2			1—	1—	2	1—	2	1—						
Ni	1	1			2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	3	3	1	1	1	3			2	1—	2	2	2	2	6				
Mo		1					1										2	3				1—											1—	
Cu	5	2	5	5	4	4	2	3—	2	2	2	2	2	3	4	4	4	3—4	4	4	6	4	2	6	5	7	6	4	6	6				
Zn																																		
Ga	2		2	2	1	2	1	1	2	2	2	3	3	1	1	3	4	4	2	3	2	2	1	2	2	1		2	2	2	2			
Ag																																		
Cd																																		
Sn																																		
Pb																3	4	4	3—4	3	2													

Б а р и й. Содержание его в более древних лавах, достигая заметных количеств, значительно колеблется, в то время, как в последних излияниях наблюдается точно такая же картина, как и со стронцием, а именно закономерное увеличение содержания бария от минимальных значений в начальном излиянии, до значительного в лаве 1946 г.

Ц и р к о н и й. Изменение содержания его не связано с возрастом. По-видимому, относительно большее содержание циркония в некоторых породах можно связать с повышенной кислотностью лав. В лавах последних излияний цирконий не обнаружен, за исключением самого последнего (приведенного в табл.) излияния 1946 г., в лаве которого обнаружено относительно значительное количество, равное максимальному значению у относительно более древних лав.

В а н а д и й. У относительно более древних и у молодых лав содержание его примерно одинаковое.

Х р о м. Содержание его в относительно более древних лавах сильно колеблется, а в лавах последних излияний наблюдается точно такая же картина, как с ванадием.

К о б а л ь т. Количества его незначительны, и он чаще встречается в относительно более древних лавах. В лавах 1938 г. он не обнаружен. Вновь появляется в лаве 1946 г.

Н и к е л ь. Содержание его уменьшается с возрастом, несколько увеличивается и становится почти одинаковым, как в более древних, так и в последних излияниях.

М о л и б д е н. Встречается в более древних лавах, редко и в очень малых количествах. В лавах последних излияний он не обнаружен.

М е д ь. В более древних лавах содержание ее достигает значительных количеств, но и колебания в содержании значительные, и какого-либо последовательного изменения в количественном содержании не наблюдается. В лавах всех излияний 1938 г. содержание меди одинаковое и минимальное при сравнении со всеми лавами Ключевской группы вулканов. В лаве 1946 г. содержание меди увеличилось.

Г а л л и й. Содержание его имеет тенденцию понижаться с уменьшением возраста у более древних лав и повышаться в лавах излияний 1938 г., причем в трех и четырех излияниях этого года содержание галлия достигает значительных для него количеств. Лава же 1946 г. снова дала незначительное количество.

Для Карымской группы вулканов

Б е р и л л и й. Обнаружен только в одной породе — самом кислом даците. По-видимому, здесь наблюдается связь его с кислотностью пород.

Стронций. По возрасту почти не изменяется.

Барий. Несколько больше у молодых и в то же время более кислых пород.

Цирконий. Обнаружен только в более кислых (обсидиан и дацит) и в то же время более молодых породах.

Ванадий. Больше в более древних и в то же время более основных породах.

Такая же картина наблюдается для хрома, кобальта и никеля, за исключением того обстоятельства, что содержание никеля в дацитовой лаве последнего излияния в 1935 г. увеличилось и стало равным содержанию его в относительно более древних и более основных породах.

Молибден. Его содержание повышенное и количества его в тех породах, в которых он обнаружен, почти не изменяются.

Медь. Содержание ее с возрастом не изменяется.

Галлий. Содержание его повышенное и количество с возрастом несколько изменяется.

Свинец. Содержание его с уменьшением возраста сначала несколько увеличивается, а затем убывает. Наибольшие содержания его не только в кислых породах—обсидиане и кислом даците, но и в андезито-базальте.

Для группы Центрального Семьячика

Бериллий. Изредка встречается и в очень небольших количествах.

Стронций. Его количества с уменьшением возраста увеличиваются.

Барий. Также увеличивается, но не так закономерно, как стронций.

Цирконий. Его количество с уменьшением возраста уменьшается, за исключением одного случая.

Ванадий и медь. В первой половине идет уменьшение их количества, а во второй половине постепенное увеличение.

Хром, кобальт и никель. Не обнаружены в относительно более древних лавах. Появляются в небольших количествах в более молодых.

Молибден. Обнаружен только в одном случае в средней по возрасту лаве.

Галлий. Содержание его почти не изменяется. Колеблется в незначительных количествах.

Для группы Малого Семьячика

Бериллий. Обнаружен только в самой древней и наиболее основной лаве.

Стронций и барий. Количества их незначительно изменяются. Их содержание несколько увеличивается в самой молодой лаве.

Цирконий. Обнаружен только в более древних лавах.

Ванадий. Имеет тенденцию увеличиваться (за исключением одного случая).

Хром и никель. Увеличиваются с уменьшением возраста (в одной породе не обнаружены).

Кобальт обнаружен только в самой древней лаве.

Молибден обнаружен в самой молодой лаве.

Содержание **меди** почти одинаковое, за исключением одного случая.

Галлий. В самой древней лаве он не обнаружен, а в остальных количества его одинаковы, следовательно, содержание его не изменилось.

Рассеянные элементы, обнаруженные в минералах, входящих в состав лав, и в фумарольных минералах приведены в табл. 3.

В **магматических минералах**, как это следует из данных табл. 3, состав рассеянных элементов изменяется по сравнению с составом лав, из которых они извлечены.

Во всех пироксенах увеличивается содержание ванадия и хрома; в двух пироксенах — также и никеля. Появляется скандий (в двух пироксенах). Уменьшается содержание бария и галлия. Содержание меди остается без изменений — в пироксенах такое же, как и в лавах. В одном пироксене (Заречного вулкана) исчезает свинец, обнаруженный в лаве.

В первом пироксене содержание стронция уменьшается, во втором увеличивается, а в третьем не изменяется — остается такое же, как и в лаве. Кобальт находится в первом пироксене, хотя в лаве он не был обнаружен, в третьем же относительно значительно увеличивается, а во втором уменьшается. Таким образом Sc, V, Cr, Ni и отчасти Co больше

Cr, Co, Ni и Cu. Нет Sc и Ga, но обнаружены незначительные количества Sn и Pb.

В фумарольных минералах обнаружены рассеянные элементы, которые в лавах отсутствовали или были обнаружены в единичных случаях. К обнаруженным в фумарольных минералах относятся Sc, Mo, Zn, Ag, Cd, Sn, Hg, Pb, As, Sb, Bi, U.

По сравнению с составом рассеянных элементов в лавах, на которых образовались фумарольные минералы, в последних наблюдаются как увеличения, так и уменьшения количеств данных рассеянных элементов; иногда содержание остается таким же, как и в лаве (табл. 3).

Довольно закономерные изменения в составах рассеянных элементов наблюдаются в возгонах Билюкая, возникших на лавах трех излияний и взятых на различных расстояниях от кратера. Так, максимальные количества в возгонах хрома, стронция и, отчасти, бария, уменьшаются как с увеличением расстояния места их (возгонов) возникновения от кратера, так и в различных порциях лавы — в порядке от первого к третьему излиянию.

концентрируются в пироксенах, чем в остальной части лавы, т. е. в продуктах более ранней кристаллизации, каковое обстоятельство связано в их изоморфном замещении главных элементов в кристаллических структурах этих минералов.

В оливине пока можно отметить относительно повышенное содержание кобальта и никеля.

В роговой обманке по сравнению с лавой несколько уменьшается содержание Sr и Ba, значительно увеличивается содержание V и Cr и немного — Ni. Содержание Co почти не изменяется. Cu и Ga в роговой обманке не обнаружены.

В основном плагиоклазе сильно увеличивается содержание Sr, слабо Ba и Cr. Содержание Cu не изменяется. Остальные элементы, обнаруженные в лаве — Sc, V, Co, Ni и Ga, — не обнаружены в плагиоклазе.

В магнетите обнаружено ничтожное содержание Zn и Sn, которые в лаве не обнаружены. Cr, Co, Ni и Cu в таких же количествах, как и в лаве, а V несколько меньше, чем в лаве.

В основной массе (в стекле) больше, чем в лаве, Sr и Ba, отчасти V,

Цирконий и кобальт в лаве спектрографически не были обнаружены, но в возгонах они уже наблюдаются, причем количество циркония несколько увеличивается в возгонах, связанных с последним — третьим — излиянием лавы. Количества кобальта и ванадия почти не изменяются в возгонах на лавах всех трех излияний. Количество никеля в возгонах уменьшается по сравнению с содержанием его в лаве. Количество меди почти не изменяется. Галлия в возгоне Билюкая значительно меньше, чем в лаве, но он имеет тенденцию в возгонах последней (третьей) порции излияния лавы увеличиваться. Только в возгонах последнего (третьего) излияния появляется серебро, а в возгонах второго излияния обнаружен висмут.

Примерно такая же картина наблюдается и в возгонах Тирануса и Козея, но в возгонах Тирануса не с уменьшением никеля, как у Билюкая, а с некоторым увеличением его, а также меди и, особенно, кобальта и галлия, и с появлением в них олова и свинца, а в возгоне Козея увеличение содержания кобальта и никеля, появление молибдена, а также свинца и висмута.

В фумарольном минерале Шевелуча галотрихите по сравнению с составом лавы повышенное содержание Sr и Co и слабо повышенное V, Ni и Cu. Другие элементы не обнаружены.

Некоторым своеобразием отличаются возгоны Юбилейного. В возгонах кратера Обручева обнаружены только Sr, Ba и Cu. Эти элементы обнаружены во всех возгонах Юбилейного, но в возгонах кратера Заварицкого обнаружен еще Sr, а на лавовом потоке Заварицкого хрома нет, но обнаружены Zn, Ag, Pb, As.

Самыми обильными из них рассеянными элементами являются возгоны кратера Левинсон-Лессинга. В последних обнаружены Sr, Ba, Cr, Co, Ni, Cu, Cd, Pb, As.

Интересно отметить, что в возгонах Юбилейного не были обнаружены часто встречающиеся в других возгонах и лавах Zr, V, Ga и более редко встречающиеся Mo и Sn.

Таким образом, «летучесть» и миграция упоминавшихся рассеянных элементов различная.

В табл. 4 приведены рассеянные элементы, содержащиеся в измененных под влиянием сольфатарной деятельности горных породах и в некоторых образовавшихся при этом минералах, а также в конденсированном природном паре и в термальных водах.

В породах, изменяющихся под воздействием сольфатарных процессов, наблюдается явный параллелизм между стадией изменения пород и степенью миграции рассеянных элементов вплоть до полного их исчезновения.

Так, в неизменном андезито-базальте (обр. 53) были обнаружены: Sr, Ba, Zr, V, Cr, Ni, Cu, Ga, а в частично измененном (обр. 54) уже исчезли Sr, Ni; в сильно измененной породе (обр. 54) остались только V, Cu, которые оказались более стойкими или инертными. В полностью измененной (опализированной) породе не был обнаружен ни один из упоминавшихся рассеянных элементов.

Таким образом, при процессе изменения пород под влиянием сольфатарной деятельности постепенно уносятся — мигрируют — все рассеянные элементы, и образующаяся порода является совершенно чистой — стерильной — в отношении примесей рассеянных элементов.

При сравнении рассеянных элементов в глинистой породе, содержащей кристаллы гипса, с рассеянными элементами в гипсе, в последнем обнаружен только стронций. Остальные же обнаруженные в глинистой породе элементы — Zr, V, Cr, Cu, Ga, Sn не обнаружены в гипсе.

В белых корочках на сиреневом андезито-базальте или на синей глинистой породе не наблюдалось больших изменений. Можно только отме-

Рассеянные элементы в измененных под влиянием сольфатарной деятельности породах, в некоторых образовавшихся при этом минералах, в парах и термальных водах

№ образцов	Центральный Семячик														Копелевский вулкан			Рена Гейзерная						
	Адлеито-базаит	Постепенное его изменение (опализация)				Чистый опал	Измененная порода	Белый порошок	Сиреневый андезит-базальт	Белая корочка на сиреневом андезит-базальте	Синяя глина из ядра	Белая корочка на ядре из синей глины	Глина с гипсом	Г и п с	Опал с пиритом	О п л	Травертин	Красная глина	Выцветы (алуноген и др.)	Рюлит	Гейзерит	В колдсате перегретых паров воды гейзеров	В термальных водах Камчатка	
	55	56	54 _г	54 _а	60/46	100	104	87 _а	87					65	97									
Li																							X	Li
Rb																							X	Rb
Be																								
Sr	4	4	3		—	5	4	2	2	3	2	3	3	4	4	2		1—	3	4	1—	X	Sr	
Ba	3				—	5	5							4	4	1			4	4	1—	X	Ba	
Sc					—																			
Zr	2	1—	1	1	—	1	3	3	3	2	2	1	—	2	1			1	3	3				
V	4		2—		—	2	1	2	2	1	2	1		4	4		4	1						
Cr	3	4	2		—	2	1	2	2	1	1			2	2		4	4			3		Cr	
Co					—																			
Ni	1	1—			—					1				1		2	2	2						
Mo				1	—		2	1	3	3	3	—		3	1		1	2	2	1	2	X	Mo	
Cu	3		2		—	1	2	3	3	3	3	—	3	3	1		1	2	2	1	2	X	Cu	
Zn	2	1—	1		—	1—		1—	1—		1—	1—	1—	1—			2	1	1	1—	2	X	Zn	
Ag					—																		X	Ag
Cd					—																		X	Cd
Sn					—																		X	Sn
Hg					—					1		1											X	Hg
Pb					—																		X	Pb
As					—										1—2				1—		1	X	As	
Sb					—																2	X	Sb	
Bi					—																	X	Bi	
U					—																			
Te					—																		X	Te
Ge					—																		X	Ge
B					—																		X	B
Cl					—																		X	Cl
Br					—																		X	Br
J					—																		X	J

тить отсутствие в них на андезито-базальте V, Mo и на синей глинистой породе Ni, Sn.

Относительно рассеянных элементов в продуктах Кошелёвского вулкана (Набоко, 1954) следует отметить, что красная глина, образовавшаяся из андезита, менее богата ими, чем выцветы, выросшие на ней. В последних обнаружены Be, Ba, Zr, которые не найдены в красной глине. Са же находится в глине, но его нет в выцветах. Следует только отметить несколько повышенное и одинаковое по количеству содержание Со в глине и выцветах.

Интересен состав конденсированных паров воды Камчатского гейзера. В конденсате были обнаружены Sr, Ba, Cr, Cu, Zn, Sn, As и Sb, причем количество хрома преобладало над другими. Таким образом, и с водным паром мигрируют некоторые рассеянные элементы.

Следует при этом отметить необычный изотопический состав, а именно пониженное содержание дейтерия по сравнению с повышенным содержанием тяжелого кислорода по отношению к Московскому речному стандарту. С. И. Набоко предположительно объясняет или фракционированием при испарении воды (так как дейтерий и тяжелый кислород менее летучие), или примесью вулканических паров воды, содержащих повышенное количество тяжелого кислорода.

Рассеянные элементы, содержащиеся только в лавах и сгруппированные по петрографическому принципу, приводятся в табл. 5.

Как видим из цифр табл. 5, большинство рассеянных элементов встречается как в основных, так и в кислых породах. Только бериллий чаще встречается среди кислых пород, а цинк только в кислых породах.

Литий и рубидий были обнаружены в андезито-базальте и дацитах Кабарджина (в породах из других мест они не определялись).

Чаще всего бериллий встречается в андезито-дацитах, дацитах и риолито-дацитах, причем наибольшее его количество обнаружено в даците Карымской группы вулканов.

Стронций и барий обнаружены во всех породах (но барий не во всех образцах). Наибольшее количество стронция обнаружено в даците, а бария — в андезитах и дацитах Семячинских вулканов и в андезите Кинчоклока.

Цирконий не обнаружен в базальте Заречного вулкана и в базальте и андезито-базальте Карымской группы вулканов.

Максимальные значения его в андезито-базальтах и андезитах Семячинских вулканов.

Рассеянные элементы в лавах, сгруппированные по типам
горных пород

Элементы	Базальты							Андезиты-базальты и порфиры						Андезиты					Андезито-дациты		Дациты				Риолито-дациты		Обсидиан			
	Ключевская группа вулканов	Заречный вулкан	Семячинская группа вулканов	Карымская группа вулканов	Вулкан Заварицкого	Срединный хребет	Южно-Быстринский хребет	Кабардин	Ключевская группа вулканов	Семячинская группа вулканов	Карымская группа вулканов	Срединный хребет	Южно-Быстринский хребет	Юг. Монголии	Ключевская группа вулканов	Швелуч	Семячинская группа вулканов	Срединный хребет	Киччюк	Южно-Быстринский хребет	Вулкан Хангар	Кабардин	Семячинская группа вулканов	Карымская группа вулканов	Вулкан Хангар	Кабардин		Семячинская группа вулканов	Вулкан Хангар	Карымская группа вулканов
К-во обр.			5	1	1				3	1						11	1	1				4					5		1	
Li																														
Rb																														
Be			0-1				?	1+				?	1=1-			0-1-		1	?	0-1=	1-1	×	0-1-	0-2	0-1		1-1	×	0-1-	1=-1
Sr	3-5	3-3	4-8	4	4-	7-8	2	4	1-4	4-9	4	7-8	2-2	3-3+	4-4	3-3	4-6	8	8	2-3	2-3	0-1-	0-2	0-1		1-1	0-1-	1=-1	3	
Ba	3-6	3-3	1-6	3	5	6-7	4	5	0-6	4-8	3	8-8	5-7	3+4	5-5	3-3	2-9	7	9	3+-5	5-7	1-4	7-9	4-4	4-7	3-3+	2-8	4-7	4	
Sc																														
Zr	1-3		1-4	4-	4-	2-5	1	3	0-2	0-6		4-5	3-3	1-2	2-3	0-2	2-6	4	5	0-3	2-2	2-3	3-5	3-4	2-3	2-2+	2-3	2-2+	2	
V	3-5	2-3+	2-6	5	4-	6-6	1+	4	2-5	4-8	5	5-6	2-2	1-3	2-5	2-3	2-8	4	6	1-3+	1-1	1-3+	2-8	3-4	1+-2	2+-3+	2-4	1-2		
Cr	1-4	2-3+	0-6	5	4	5-6	1-	6	1-5	0-8	4	3-6		3-3+	0-2	2-2	0-6	3	2	0-4	0-1	2-3+	0-2	0-2	0-1-	1-2+	0-6		1	
Co	0-2	1-1	0-2	4	4	2-4		3	0-2	0-2	4		0-1	0-1+	0-1	2-2	0-2	2	2	0-1	0-1	1-2+	0-2	2-3	0-1+	1-1+			3	
Ni	0-2	1-2	0-4	3	4	3-4	1=	9	0-3	0-6	3	3-6		2-2	0-2	2-3	0-2	4	2	0-1	0-1	1-2+	0-2	1-3	0-1	0-1	0-3	1-3	1	
Mo	0-1								0-1	0-1-	2				0-0	0-1	0-1-													3
Cu	0-5	2-2	5-6	4	3	4-5	3	?	2-5	4-8	4	4-5	1-1	2-3	2-5	2-3	2-7	4	6	1-3	2-3	2-3	2-5	3-4	1-2	3+-3+	3-6	1-2	4	
Zn																														
Ga	1-2	1-1	0-2	3	1	1-2	1=	1+	0-3	1-3	4	1-1	1-1=	1-1	2-2	2-3	1-2	2	2	0-1	1-1	1-2	1-2	2-3	1=1	2+-2+	1-2	0-1=	4	
Ag																														
Cd																														
Sn																														
Hg																														
Pb	0-1	0-1-		3							4												0-1-	2-4		1-1-				4
As																														
Sb																														
Bi																														
U	0-1																													

М е д ь обнаружена во всех породах и во всех, за исключением Кабарджина, местах. Максимальное содержание ее в Семячинских андезито-базальтах.

Ц и н к обнаружен только в андезито-дацитах и дацитах Кабарджина.

Г а л л и й обнаружен во всех породах, но не во всех образцах. Максимальное его содержание обнаружено в андезито-базальтах и обсидиане Карымского района.

С в и н е ц обнаружен во всех породах, кроме андезито-дацитов и риолито-дацитов, но не во всех местах. Максимальное содержание его, как и галлия, в андезито-базальтах и обсидиане Карымского района.

С е р е б р о в очень незначительных количествах обнаружено в андезитах Шевелуча и Южно-Быстринского хребта.

О л о в о, **м ы ш ь я к**, **с у р ь м а** и **в и с м у т** обнаружены только в андезитах Шевелуча, а уран — в базальте Ключевского вулкана.

В табл. 6 приведены рассеянные элементы, разделенные на следующие группы: а) рудные элементы, относимые к основной магме, б) рудные элементы, относимые к кислой магме и в) элементы, обычно также относимые к кислой магме.

Среди рассеянных элементов обнаружены в лавах как рудные элементы, обычно относимые к основной магме — это V, Cr, Co, Ni, так и рудные

В а н а д и й обнаружен во всех, кроме обсидиана, породах. Максимальное его количество обнаружено в андезито-базальтах, андезитах и дацитах Семячинских вулканов.

Х р о м обнаружен во всех породах, но не во всех образцах. Территориально он не обнаружен в порфиритах Южно-Быстринского хребта и в риолито-дацитах вулкана Хангар. Максимальное содержание хрома в андезито-базальтах Семячинского вулкана.

К о б а л ь т не обнаружен в базальтах вулкана Заварицкого и Южно-Быстринского хребта, в андезито-базальтах Срединного хребта, андезитах Кинчоклока и в риолито-дацитах. Его больше всего в базальте Срединного хребта и в базальтах и андезито-базальтах Карымской группы вулканов.

Н и к е л ь не обнаружен только в порфиритах Южно-Быстринского хребта и в андезито-дацитах вулкана Хангар. Максимальное содержание его в базальтоподобной породе Кабарджина. На втором месте в этом отношении стоят андезито-базальты Семячинской группы вулканов и Срединного хребта.

М о л и б д е н встречается во всех, кроме андезито-дацита, породах, но не во всех местах. Он встречается в Ключевском, Шевелуче, Семячинском и Карымском районах. Максимальное содержание его обнаружено в обсидиане Карымской группы вулканов.

Рассеянные элементы как рудные компоненты основной и кислой магм

Элементы	Ключевская группа вулканов	Харчиноко-Заречный	Шевелуч	Семечинская группа вулканов	Карымская группа вулканов	Вулкан Заварзино	Срединный хребет	Кинчоклок	Хангар	Южно-Бастрынский хребет	Кабарджин	Юг Монголии	Камчатка						Кабарджин			Монголия	
													Базальты	Андезитобазальты	Андезиты	Андезитодациты	Дациты	Риолитодациты	Обсидиан	Базальты	Андезитодациты	Дациты	Порфириды
<i>а) Рудные элементы, относимые обычно к основной магме</i>																							
V	2-5	2-3+	2-3	2-8	0-5	4-	4-6	6	1-2	1+-3+	1-4	1-3	1+6	2-8	1-6	1-1	1+8	1-4	4	1-3+	2+-3+	1-3	
Cr	0-5	2-3+	2-2	0-8	0-5	4	3-6	2	0-1	0-4	1-6	3-3+	0-6	0-8	0-6	0-1	0-2	0-6	1	6	2-3+	1-2+	3-3+
Co	0-2	1-1-	2-2	0-2	2-4	0-4	0-4	0-1+	0-1	1-3	0-1+	0-4	0-4	0-2	0-1	0-3	0-3	3	3	1+-2+	1-1+	0-1+	
Ni	0-3	1-2	2-3	0-6	1-3	4	3-6	2	0-3	0-1	0-9	2-2	0-4	0-6	0-4	0-3	0-3	1	9	1-2+	0-1	2-2	
<i>б) Рудные элементы, относимые обычно к кислой магме</i>																							
Cu	0-5	2-2	2-3	2-8	3-4	3	4-5	6	1-3	1-3	2+-3+	2-3	0-6	1-8	1-7	2-3	1-5	1-6	4	2+-3+	3+-3+	2-3	
Ag	0-3		0-1							0-1					0-1								
Zn	0-1										0-1-										0-1-	0-1-	
Cd	0-2																						
Hg	0-1																						
Ga	0-3	1-1	2-3	0-3	2-4	1	1-2	2	0-1	0-1	1-2+	1-1	0-3	0-3	0-3	1-1	1-3	0-2	4	1+	1-2	2+-2+	1=-1
Zr	0-3		0-2	0-6	0-4	4-	2-5	5	2-3	0-3-	1-4	1-3	0-5	0-6	0-6	2-2	2-5	2-3	2	3	2-3	2-2+	1-2
Sn	0-2		0-1	0-1											0-1								
Pb	0-1	0-1-	0-2	0-1	2-4								0-3	0-4	0-2		0-4		4			1-1-	
As	0-2		0-2												0-2								
Sb	0-1		0-2												0-2								
Bi	0-1		0-1												0-1								
Mo	0-1		0-1	0-1-	0-3								0-1	0-2	0-1		0-2	0-1-	3				
U	0-1												0-1										
<i>в) Элементы, относимые обычно также к кислой магме</i>																							
Li																							
Rb																							
Be				0-1-	0-2			1	0-1	0-1	x	x	1-1+	1=-1	0-1-	0-1=	0-1	0-1	0-2	0-1	1+	x	x
Sr	1-5	3-3	3-3	4-10	3-4	4	7-8	8	2-4	2-3	1-4	3-3+	2-8	1-9	2-8	2-3+	1-10	2-9	3	4	1-1	1-1	1=-1-
Ba	0-6	3-3	3-3	1-9	3-4	5	6-8	9	4-7	3+-7	1-4	3+-4	1-7	0-7	2-9	1-7	3-9	2-8	4	5	2-3+	1-2	3-3+
Sc	0-1		0-1								1-5	3+-4	1-7	0-7	2-9	1-7	3-9	2-8	4	5	1-4	3-3+	3+-4

элементы, обычно относимые к кислой магме — это Cu, Ag, Zn, Cd, Hg, U и в возгонах Ga, Zr, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Mo, U.

Встречаются и другие элементы, обычно относимые также к кислой магме — это Li, Rb, Be, Sr, Ba.

В некоторых породах и на некоторых территориях они достигают, как уже упоминалось, относительно значительных концентраций.

Ванадий и хром в андезито-базальтах и дацитах в Семячинских группах вулканов — до восьми индексов.

Кобальт в базальтах и андезито-базальтах Карымского района и Срединного хребта — до четырех индексов.

Никель в базальтоподобной породе Кабарджина — до девяти индексов, а в андезито-базальтах Семячинского района — до шести индексов.

Медь в андезито-базальтах Семячинского района — до восьми индексов.

Серебра в андезитах Шевелуча — до одного индекса.

Цинка в дацитах Кабарджина — до одного индекса.

Кадмия в возгонах Ключевского вулкана — до двух индексов, ртути — до одного индекса.

Галлия в обсидиане Карымского района — до четырех индексов.

Циркония в андезито-базальтах и андезитах Семячинского района — до шести индексов.

Олова в андезитах Шевелуча — до одного индекса и в возгонах Ключевского — до двух индексов.

Свинца в андезито-базальтах, дацитах и обсидиане Карымского района — до четырех индексов.

Мышьяка, сурьмы и висмута в андезите Шевелуча — до двух (для As и Sb) и до одного (для Bi) индекса.

Молибдена в обсидиане Карымского района — до трех индексов.

Урана в базальте Ключевской группы вулканов — до одного индекса.

Литий и рубидий присутствуют в андезито-дацитах и дацитах Кабарджина.

Бериллия в дацитах Карымского района — до двух индексов.

Стронция в даците Семячинского района — до десяти индексов.

Бария в андезитах и дацитах Семячинского района и Кинчоклока — до девяти индексов.

Скапдий в мипералах и возгонах Ключевского и Шевелуча — до одного индекса.

Таким образом, исследованные лавы являются носителями разнообразных рудных элементов в различных количествах, и это обстоятельство необходимо учитывать при рассмотрении вопросов рудообразования.

Для того чтобы более наглядно показать, какие приблизительные количества некоторых рудных элементов находятся в рассеянном состоянии в лавовых потоках, приведем только один пример.

При извержении Билюкая в 1938 г. излились базальтовые лавовые потоки общим объемом в 240 млн. м³.

Учитывая пузырчатость лавы и ее трещиноватость, примем удельный вес ее равным 1; следовательно, вес излившейся лавы равнялся 240 млн. т.

В табл. 7 приведены обнаруженные в лаве Билюкая рассеянные элементы, их индексы, их процентное содержание в лавах и количества в ней в тоннах.

Конечно, это весьма приблизительные, ориентировочные данные, но и они говорят об относительно больших количествах рассеянных элементов, выносимых из глубин земли вулканическими продуктами, в данном случае, лавами одного вулкана в течение одного извержения, продолжавшегося в течение 390 дней.

Таблица 7

Элементы	Индексы	Вес в %	Количество в т
Sr	2	0,015	38 000
Ba	2	0,015	38 000
V	4	0,01	24 000
Cr	4	0,01	24 000
Co	В лаве он не обнаружен, но в вагонах на лаве обнаружен	0,00001	24
Ni	2	0,001	2400
Cu	2	0,001	2400
Sa	3	0,0015	3600

Таким образом, вулканические продукты являются носителями и переносчиками рудных элементов.

Каким образом эти рассеянные рудные элементы концентрируют и образуют рудные месторождения — это вопрос особый. Конечно, перенос и концентрация рассеянных рудных элементов зависят от окружающей геологической среды. В недрах земли перенос их происходит в одних условиях, а перенос вблизи поверхности земли в других условиях.

В поверхностных условиях он (перенос) связан с малым давлением, характером верхней части вулканического канала, пузырчатостью лавы, т. е. с интенсивностью и количеством выделяющихся газов, типом лавовых потоков, характером пирокластических отложений и т. п.

На первой стадии интенсивными переносчиками являются пары воды и газы, среди последних играют главную роль галогидные газы. Но в поверхностных условиях многие из элементов почти не концентрируются, а переходят в еще более рассеянное состояние. Количества выделяющихся газов больше. По подсчетам С. И. Набоко (1940) во время извержения этого же побочного вулкана Билюкая в течение одного часа выделялось 1 270 000 м³ газов и водяного пара или около 30 млн. м³ в сутки. Исходя из химических анализов газов Билюкая, в сутки выделялось около 240 т хлористого водорода и других кислых газов и от 13 до 23 тыс. т водяного пара. Сколько газов выделялось за все время извержений Билюкан неизвестно, поэтому нельзя дать полную количественную картину всех выделившихся газов, но надо полагать, что количества их были значительными.

Химические анализы лавы и пирокластических образований Билюкая и всего Ключевского вулкана дают содержание воды от 0,1 до 1,0%. Это, по сути говоря, остаточные летучие соединения, не успевшие или не смогшие выделиться из лавы.

На основании всех этих данных, можно принять минимальное содержание газов и паров воды в лаве не менее 2% (всеховых).

Следовательно, их минимальный вес в лавовых потоках Билюкая равнялся около 5 млн. т. Из них приблизительно 0,5%, т. е. около 25 000 т, составляли преимущественно галогидные и в меньшей степени другие кислые газы.

Однако переносчиками элементов могут быть не только галогидные и отчасти сернистые газы, но и пары воды. О том, что последние могут быть переносчиками различных элементов, писали на основании экспериментальных работ Д. С. Белявкин, Ф. В. Сыромятников, Н. И. Хитаров и другие.

Водяной пар может переносить элементы не только в искусственных, но и в природных условиях. Так, С. И. Набоко (1954) показала, что в водяных парах одного из камчатских гейзеров находятся из рудных элементов Cr, Cu, Zn, Sn, As и Sb.

Таким образом, в поверхностных условиях в начальной стадии охлаждения вулканических продуктов галлоидные газы и пары воды являются главными переносчиками различных элементов.

При дальнейшем охлаждении и образовании воды главным переносчиком является, как известно, горячая вода.

Газы и вообще летучие соединения играют значительную роль в переносе и концентрации некоторых рассеянных рудных элементов в глубинах земли в температурных зонах выше критической. Но в этих условиях газовый перенос сильно зависит от тектонических и вулканотектонических причин, от нарушения равновесия между внутренним давлением летучих в магме с внешним давлением. Образование трещин является одним из способов нарушения этого равновесия, способствующего выделению летучих компонентов и их переносу и концентрации в новых физико-химических условиях.

В температурной зоне ниже критической переносчиком элементов является уже наряду с газами и горячая вода.

Такова упрощенная схема переноса и, в некоторых случаях, концентрации некоторых рассеянных рудных элементов магматического происхождения.

ЛИТЕРАТУРА

- С. А. Боровик и В. И. Влодавец. О возгонах Туйлы и Билюкая сбора 1936 г. «Бюлл. вулк. станции на Камчатке», № 4, 1938.
- С. А. Боровик и В. И. Влодавец. О распределении элементов в некоторых лавах Карымского района. «Бюлл. вулк. станции на Камчатке», № 13, 1946.
- С. А. Боровик и С. И. Набоко. О распределении элементов, содержащихся в возгонах. «Бюлл. вулк. станции на Камчатке», № 9, 1941.
- В. И. Влодавец. О химическом составе камчатской магматической провинции. Сб. «Вопр. минер., геол. и петрогр.», 1946.
- В. И. Влодавец и Н. Н. Шаврова. Гора Кабарджин. «Тр. Лабор. вулканологии АН СССР», вып. 7, 1952.
- Ф. М. Дитерихс, В. С. Кулаков и А. Е. Святловский. Паразитические кратеры Ключевского вулкана, возникшие с 1932 г. «Тр. Камч. вулк. станции», вып. 2, 1948.
- Л. Г. Кваша. Исследование образцов возгонов с лавового потока и кратеров прорыва «Юбилейного» Ключевского вулкана. «Тр. Лабор. вулканологии АН СССР», вып. 8, 1954.
- А. А. Месяцлов. Вулкан Шевелуч, его геологическое строение, состав и извержения. «Тр. Лабор. вулканологии АН СССР», вып. 9, 1955.
- С. И. Набоко. Извержение Билюкая, побочного кратера Ключевского вулкана в 1938 г. «Тр. Лабор. вулканологии и Камч. вулк. станции», вып. 5, 1947.
- С. И. Набоко. Об исследовании конденсата паров в районе гейзеров. «Био. вулк. станции», № 22, 1954.
- С. И. Набоко. Вулкан Кошелева и его состояние летом 1953 г. «Бюлл. вулк. станции», № 23, 1954.
- Б. И. Пийп. Термальные ключи Камчатки. «Тр. СОПС», сер. камчат., вып. 2, 1937.
- Л. С. Селиванов. О происхождении хлора и брома в соляной массе океана. «Бюлл. вулк. станции на Камчатке», № 11, 1947.
- Н. Н. Шаврова. О некоторых микроэлементах в лавах вулканов Ключевской группы. «Бюлл. вулк. станции», № 22, 1954.