

ДИНАМИЧЕСКИЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ МАГМАТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
НОВОСИБИРСК 1983 г.

В. Н. АНДРЕЕВ, В. И. СОТНИКОВ, О. Н. ВОЛЫНЕЦ, Г. Б. ФЛЕРОВ

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ Mo, Cu, Zn, Pb В ПОРОДАХ БОЛЬШОГО ТРЕЩИННОГО ТОЛБАЧИНСКОГО ИЗВЕРЖЕНИЯ 1975-1976 гг.

Известен обширный материал по распределению главных и многих редких элементов в базальтах Большого трещинного Толбачинского извержения* [3, 4, 9, 14]. Однако поведение отдельных элементов в ходе извержения детально анализировалось лишь для некоторых из них (см., например, [9]). Предлагаемое сообщение восполняет этот пробел для некоторых халькофильных элементов (Mo, Cu, Zn, Pb).

Хотя общие закономерности распределения Cu, Pb, Zn в породах извержения уже были установлены ранее на основе изучения коллекции из 108 образцов, проанализированных в лаборатории физико-химических методов исследования ДВГИ ДВНЦ АН СССР [3], детальное рассмотрение вариаций перечисленных элементов в ходе извержения и анализ их распределения в различных фациях твердых вулканических продуктов извержения (лава, бомба, пепел) стали возможны только после получения дополнительных данных по коллекции из 198 образцов, проанализированных в спектральной лаборатории ИГиГ СО АН СССР, в которых определено также содержание Mo. Обе коллекции анализировались с помощью количественного спектрального метода аналитиками Т. В. Сверкуновой (ДВГИ) и А. А. Алабиной (ИГиГ).

Сравнение концентраций Cu, Pb и Zn в породах извержения по данным лабораторий ДВГИ и ИГиГ показывает хорошую сходимость для Cu и Zn и значительные отличия для Pb, хотя тенденция изменений содержаний и этого элемента остается одинаковой (табл. 1). В связи с этим при дальнейшем обсуждении данные по Cu и Zn, полученные в разных лабораториях, были объединены, а для Pb использованы только данные лаборатории ИГиГ, так как коллекция, проанализированная в этой лаборатории, более представительна.

Динамика извержения и состав лав. Прежде чем перейти к изложению фактов, следует, по-видимому, напомнить о динамике извержения, хотя ход его описан в ряде публикаций [15, 16 и др.].

Начальный период извержения Северного прорыва БТТИ (с 6 по 23 июля 1975 г.) характеризуется непрерывным выносом огромного объема раскаленного пирокластического материала в газовой струе [16]. С 23 июля в режиме эксплозивной деятельности извержения появились паузы, 27 июля были отмечены первые порции лавы, а 29 июля и 2 августа произошло излияние первых лавовых потоков первого конуса. 8 августа первый конус перестал действовать, но уже 9 августа началось образование второго конуса, 17 августа — третьего, 22—23 августа — четвертого конуса и лавовых котлов. Третий и четвертый конусы, а также лавовые котлы действовали в течение всего нескольких дней, однако второй конус — до конца извержения Северного прорыва. Начиная с образования второго конуса извержение характеризовалось пульсирующим режимом эксплозивной деятельности и обильным излиянием лавы из всех эруптивных центров. Тем не менее индекс эксплозивности оставался высоким, а в целом для Северного прорыва он составил 83—87%.

С самого начала образования Южного прорыва БТТИ (18.IX.75 г.) извержение приобрело существенно эффузивный характер и характеризовалось излиянием жидких лав [16]. Эксплозивная деятельность, относительно активная в первые недели прорыва, быстро ослабела. Средний расход лавы постепенно снижался вплоть до начала апреля. 6 апреля 1976 г. началось резкое усиление эксплозивной деятельности, а 9 апре-

* В дальнейшем в тексте оно именуется БТТИ.

Таблица 1

Содержание халькофильных элементов в базальтах БТТИ, г/т

Прорыв	Химический тип лав (дата извержения)	Cu			Zn			Pb		Mo
		I	II	III	I	II	III	I	II	
Северный	Преобладающий (7. VI—10. IX. 75 г.)	137(43)	145(28)	140(71)	61(43)	75(27)	69(70)	6.8(43)	2.7(28)	1.1(43)
	Промежуточный (11—15. IX. 75 г.)	82—180	100—220	82—220	30—120	42—91	30—120	3—10	0—5	0.9—1.7
	Южный	122(12)	140(10)	131(22)	51(12)	52(10)	51.5(22)	5.6(12)	3.2(10)	1.2(12)
Южный	(11—15. IX. 75 г.)	90—180	110—190	90—190	40—70	28—110	28—110	3—8	0—6	0.9—1.6
	Промежуточный (18—24. IX. 75 г.)	153(15)	170(11)	160(26)	50(15)	58(10)	53(25)	6.5(15)	4.4(11)	1.3(15)
	Промежуточный (25. IX—30. XI. 75 г.)	130—200	200—240	110—240	40—110	36—79	36—110	4—9	2—7	1.1—1.6
	Преобладающий (1. XII. 75—10. XII. 76 гг.)	165(18)	155(10)	161(28)	49(17)	45(10)	47.5(27)	7.7(17)	3.5(10)	1.6(17)
		120—220	110—190	110—220	40—60	36—63	36—63	6—10	2—6	1.3—2.0
	211(117)	175(50)	200(167)	44(111)	59(50)	49(161)	7.8(111)	5.9(50)	1.5(111)	
	110—330	110—290	110—330	30—90	30—100	30—100	2.5—14	0—12	0.9—2.0	

Примечание. I — по данным спектральной лаборатории ИГиГ СО АН СССР, II — по данным лаборатории физико-химических методов ДВНЦ ДВНЦ АН СССР, III — объединенные данные. В каждой графе в числителе — среднее содержание элемента и в скобках — количество анализов для подсчета среднего, в знаменателе — вариации содержания элемента в отдельных образцах.

ля — и эффузивной. В дальнейшем режим извержения Южного прорыва имел циклический характер, когда периоды некоторого усиления или ослабления эксплозивной и эффузивной деятельности чередовались. Однако резкого усиления активности извержения, какое было во время апрельской вспышки, больше не наблюдалось.

Как отмечалось ранее, твердые вулканические продукты извержения представлены базальтами; по особенностям вещественного состава типы базальтов Северного и Южного прорывов существенно различаются [3, 4]. Лавы Северного прорыва по сравнению с лавами Южного имеют более высокие содержания Mg, Ca, Cr, Ni, Co, Zn, V. Базальты Южного прорыва, напротив, обогащены Al, Ti, P, K, Na, Pb, Ba, Sr, La, F, B и другими литофильными элементами. Полярные по составу типы базальтов объединяются лавами промежуточного состава, излившимся в течение весьма ограниченного отрезка времени в конце деятельности Северного и начале Южного прорывов (11 — 24. IX. 75 г.).

Результаты наблюдений.

Рассмотрим распределение Mo, Cu, Zn и Pb в базальтах Северного и Южного прорывов, а также особенности поведения этих элементов в ходе извержения.

Средние содержания Mo и Pb в базальтах извержения (см. табл. 1) близки к кларку в основных породах по А. П. Виноградову [2] — 1,4 г/т Mo и 8 г/т Pb, тогда как содержания Zn заметно ниже кларка (130 г/т), а Cu — выше кларка (100 г/т). По сравнению с соответствующими средними геохимическими типами базальтов Камчатки и Курил, а также по сравнению с преобладаю-

Средние содержания халькофильных элементов в различных типах базальтов Камчатки и Курил, г/г

Элемент	I	II	III	I	II	III	IV	II	III	IV	I	III	III
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Cu	92	100	108	93	110	148	80	100	246	94	87	—	185
Zn	87	92	114	78	95	97	95	105	110	100	89	75	58,5
Pb	3,2	5,5	4,8	2,4	5	—	4	7,4	5,3	7,4	—	—	6,3
Mo	3,1	3,2	3,3	1,0	3,2	—	2,4	1,7	2,3	2,4	—	—	1,45
<i>n</i>	34	17	6	69	110	18	29	51	10	20	16	8	15

Примечание. *n* — количество анализов для подсчета среднего. I — III — глиноземистые базальты: I — низкокальциевые, II — с умеренным содержанием К, III — высококальциевые; IV — магнезиальные базальты умеренной щелочности. 1—3 — Курильские острова; 4 — 13 — Камчатка: 4 — 7 — данные в целом для региона, 8 — 10 — для зоны Центральной Камчатской депрессии, 11, 12 — для зоны Южной Камчатки, 13 — для Толбачинской зоны шлаковых конусов. 1—3 — по данным Л. Л. Леоновой [6]; 4, 5 и 7—10 — по данным Л. Л. Леоновой и др. [7]; 11, 12 — по данным В. Д. Пампуры и др. [11]; 6 — по данным Л. Л. Леоновой и др. [1978] и В. Д. Пампуры и др. [11]; 13 — по данным авторов.

щими в пределах этого региона глиноземистыми базальтами умеренной щелочности (табл. 2) лавы БТТИ характеризуются более низкими концентрациями Zn, Mo (в 1,5—2,0 раза) и более высокими Pb и Cu (в 1,5 — 2,0 раза). От различных типов базальтов Ключевской группы вулканов (куда входит и Толбачинская зона шлаковых конусов, где и произошло извержение) лавы БТТИ также отличаются пониженным содержанием Mo [12] и Zn [7]. Однако лавы Южного прорыва по содержанию Cu, а Северного — по содержанию Pb сходны с соответствующими по щелочности типами базальтов этой группы вулканов (см. табл. 2). Таким образом, главными отличительными особенностями базальтов БТТИ в отношении анализированных элементов являются пониженные концентрации Mo и Zn.

Средние содержания Mo, Cu, Zn и Pb в преобладающих типах базальтов Северного и Южного прорывов отличаются существенно (см. табл. 1), что особенно наглядно показано на гистограммах (рис. 1). При этом концентрации Mo, Cu и Pb выше в базальтах Южного прорыва, а Zn — Северного. Содержание Mo, Cu, Pb и Zn в базальтах промежуточного состава, проявленных в последние дни деятельности Северного прорыва и в первые дни деятельности Южного прорыва, закономерно занимают промежуточное положение между величинами концентраций этих элементов в преобладающих типах лав каждого прорыва.

Вместе с тем выравнивание концентраций Mo, Pb и Zn в лавах Южного прорыва идет быстрее, чем выравнивание концентраций Cu, а также К, Rb и ряда других редких элементов (см. [3]), и уже через неделю после начала деятельности Южного прорыва («промежуточные лавы начала извержения» в табл. 1) содержания этих элементов достигают в среднем величин, характерных для преобладающей массы лав Южного прорыва.

Изложенные данные касаются средних содержаний изученных элементов в определенных группах пород, однако в ходе извержения при относительно стабильных содержаниях главных петрогенных элементов в течение основного периода деятельности как Северного, так и Южного прорывов в концентрациях Mo, Cu, Zn и Pb наблюдались значительные колебания.

М о л и б д е н . На графике вариаций содержаний Mo в ходе извержения (рис. 2) видно, что породы начального («чисто» эксплозивного) этапа деятельности Северного прорыва характеризовались самыми низкими концентрациями этого элемента — около 1 г/т. В дальнейшем вплоть до конца активности Северного прорыва нижний предел концентраций Mo в базальтах оставался на этом уровне, а с появлением первых пауз в режиме эксплозивной деятельности извержения и образованием лавовых потоков верхний предел концентраций Mo вырос до 1,25 г/т. С момента появления первых лавовых потоков несколько изменился петрографиче-

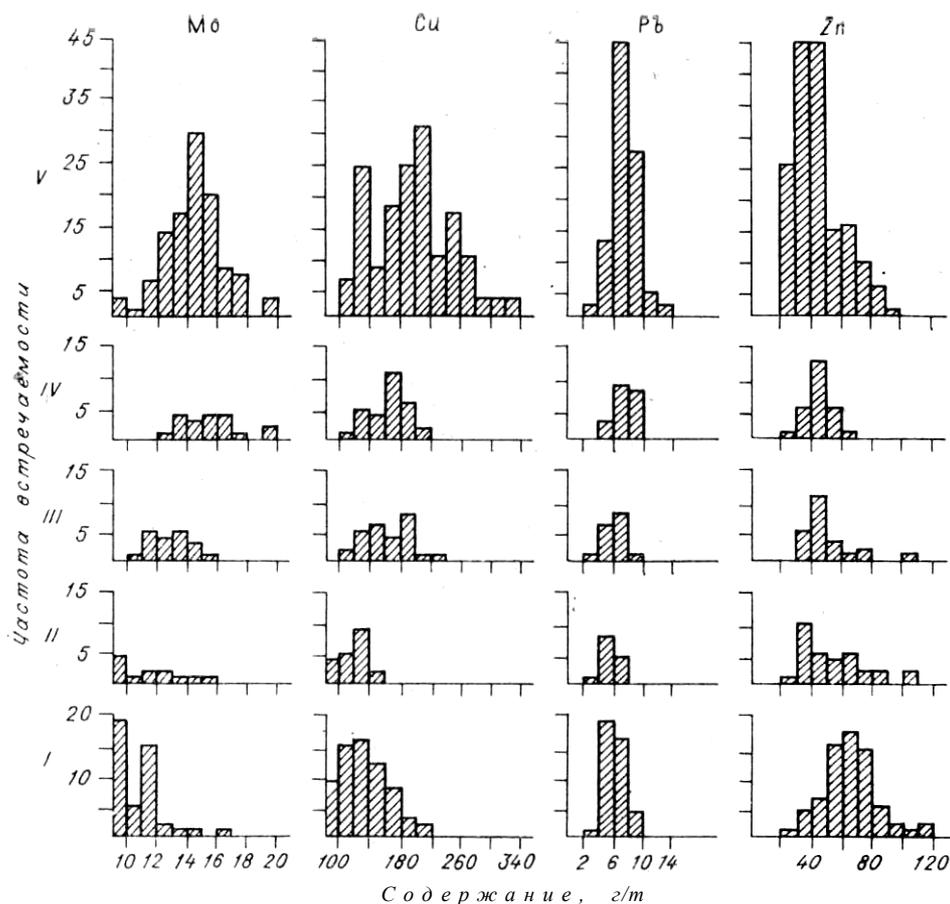


Рис. 1. Гистограмма распределения Mo, Cu, Pb, Zn в породах БТИ. Северный прорыв: I — высокомагнезиальные базальты умеренной щелочности (преобладающий тип), II — промежуточные базальты; Южный прорыв: III — промежуточные базальты первых дней извержения (18—25.IX), IV — промежуточные базальты (26.IX — 30. XI), V — субщелочные глиноземистые базальты (преобладающий тип).

ский состав вулканитов [1], а также увеличились вариации концентраций целого ряда редких элементов (в частности, редких щелочей) при стабильном содержании главных петрогенных элементов. В дальнейшем содержание Mo в вулканитах Северного прорыва постепенно увеличивалось, а в самом конце деятельности Северного прорыва (11—15.IX.75 г.) при излиянии лав промежуточного состава верхний предел концентраций Mo резко вырос — до 1,6 г/т. Следует отметить некоторое обогащение лав молибденом во время образования третьего конуса и работы лавовых котлов (18 — 24. VIII .75 г.).

В первую неделю деятельности Южного прорыва среднее содержание Mo в вулканитах и разброс концентраций этого элемента в отдельных образцах оставались такими же, как и в конечный этап деятельности Северного прорыва (см. рис. 2). В дальнейшем в ходе излияния лав промежуточного типа содержание Mo в породах постепенно возрастало вплоть до начала декабря 1975 г., когда произошла окончательная стабилизация состава базальтов Южного прорыва в отношении главных петрогенных элементов. С декабря 1975 г. по апрель 1976 г. средние концентрации Mo в вулканитах в общем постепенно снижались, достигнув в середине апреля во время резкого усиления активности и расходов лавы («апрельская активизация») минимальных значений (1,3 г/т) при максимальных вариациях содержаний. Сразу же после апрельской активизации содержания Mo в вулканитах снова резко возросли до 1,7—1,8 г/т (уровня, который был характерен для начала декабря 1975 г.), а затем, с некоторыми флукту-

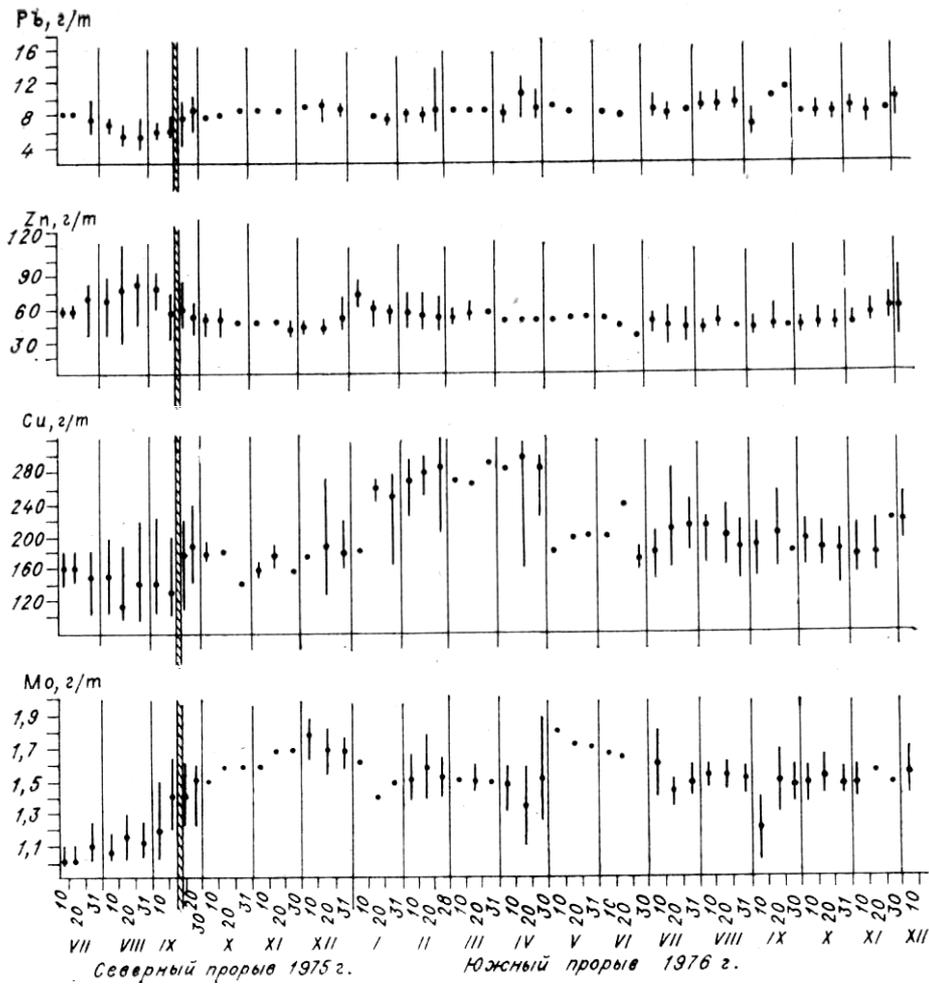


Рис. 2. Вариации содержаний Mo, Cu, Zn, Pb в ходе Большого трещинного Толбачинского извержения 1975—1976 гг. Точкой указано содержание этих элементов (среднее за десять дней), чертой — разброс микроэлементов за этот период.

ациями, уменьшались вплоть до конца извержения. Небольшие снижения содержаний Mo в лавах отмечались в июле и сентябре 1976 г. (так же как и в январе), когда интенсивность эксплозивной деятельности несколько возростала.

Медь. Распределение Cu в базальтах Северного прорыва неравномерно (см. рис. 2). Наиболее высокие средние значения содержаний Cu при минимальной их дисперсии на начальном (эксплозивном) этапе извержения. В дальнейшем с момента образования первых лавовых потоков средние содержания Cu несколько уменьшились, а дисперсии возросли. Наиболее низкая концентрация Cu в вулканитах наблюдалась в период образования третьего конуса (18.VII.75 г.), а максимальная дисперсия содержаний — в период деятельности лавовых котлов (22—24.VII.75 г.).

В базальтах Южного прорыва вариации содержаний Cu, значительные в течение всего извержения, достигли максимума во время апрельской вспышки эксплозивной активности. При этом средние содержания Cu в вулканитах в общем постепенно увеличивались от начала деятельности Южного прорыва до апреля 1976 г., а затем (в мае) резко уменьшились и испытывали лишь слабые колебания (180—210 г/т) вплоть до конца извержения.

Цинк. В базальтах Северного прорыва средние концентрации Zn и дисперсии их минимальны в начальный (эксплозивный) этап извержения

Таблица 3

Средние содержания халькофильных элементов в различных по фациальным принадлежностям продуктах извержения (бомба, лава, пепел), г/т

Прорыв	Элемент	Лава	Бомба	Пепел	Средние
Южный	Mo	<u>1,47(68)</u> 1,0—2,0	<u>1,53(21)</u> 1,2—1,8	<u>1,53(23)</u> 1,1—1,8	1,51(112)
	Pb	<u>8,0(68)</u> 2,5—14	<u>8,4(21)</u> 6—12	<u>7,3(23)</u> 5—9	8,00(112)
	Zn	<u>44,3(68)</u> 30—80	<u>41,0(21)</u> 30—65	<u>41,3(23)</u> 30—60	43,1(112)
	Cu	<u>213(71)</u> 110—330	<u>216(23)</u> 130—330	<u>205(23)</u> 140—270	212(117)
Северный	Mo	<u>1,03(9)</u> 0,8—1,2	<u>1,17(39)</u> 1,0—2,5		1,14(48)
	Pb	<u>4,3(9)</u> 3—6	<u>6,5(40)</u> 1—9		6,1(49)
	Zn	<u>47,8(9)</u> 50—65	<u>62,3(40)</u> 30—120		59,6(49)
	Cu	<u>116(14)</u> 80—180	<u>145(34)</u> 90—180		135(48)

(см. рис. 2). С переходом режима извержения в эффузивно-эксплозивную стадию значения средних начали непрерывно возрастать и только в самом конце деятельности Северного прорыва с появлением базальтов промежуточного состава снова уменьшились. Эффузивно-эксплозивная стадия извержения характеризовалась также резким увеличением вариаций содержаний Zn в отдельных образцах, причем максимальные вариации наблюдались в период образования третьего конуса.

В базальтах Южного прорыва средние концентрации Zn изменялись слабо: они лишь незначительно убывали в ходе излияния лав промежуточного состава до декабря 1975 г., затем слегка увеличивались в январе 1976 г. и далее монотонно убывали до октября 1976 г., когда начинали снова несколько увеличиваться вплоть до конца деятельности Южного прорыва. Каких-либо отчетливых вариаций в концентрациях Zn в связи с изменением режима извержения не наблюдается.

Свинец. Вариации содержаний Pb в базальтах Северного прорыва сходны с таковыми для Cu: максимальные концентрации Pb наблюдались в начальный (эксплозивный) этап извержения (8 г/т), с переходом к эффузивно-эксплозивной стадии они начали постепенно уменьшаться, достигнув минимума (5,5 г/т) в наиболее активную стадию извержения Северной группы конусов — деятельности второго, третьего конусов и лавовых котлов (9—22.VIII.75 г.). В лавах Южного прорыва содержания Pb оставались практически постоянными и лишь во время апрельской и сентябрьской 1976 г. вспышек эксплозивной активности заметно повышались (см. рис. 2).

С целью выяснения влияния фациальных условий образований твердых вулканических продуктов на уровень концентрации Cu, Mo, Pb и Zn подсчитаны средние содержания указанных элементов отдельно для лав, бомб и пеплов каждого прорыва. Результаты, сведенные в табл. 3, показывают, что разница в концентрациях Cu, Mo, Pb и Zn в лавах, бомбах и пеплах Южного прорыва незначительна, однако пеплы Северного прорыва отличаются от бомб и лав более низкими концентрациями этих элементов. Это различие может быть связано со значительно более интенсивной эксплозивной активностью при извержении Северной группы конусов.

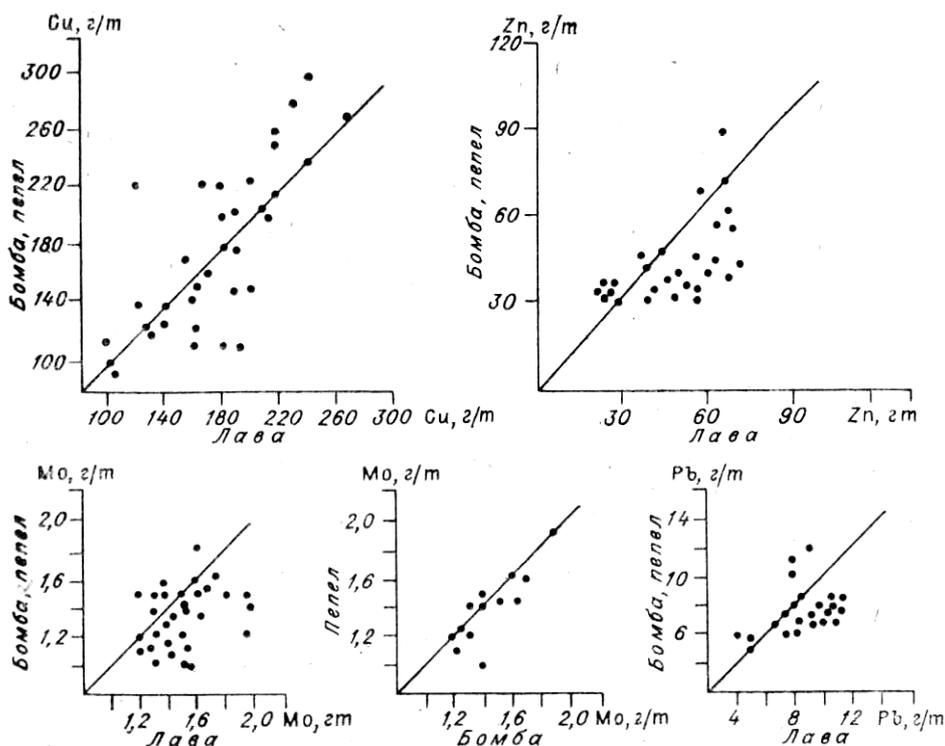


Рис. 3. Соотношение концентраций Mo, Cu, Zn, Pb в синхронно отобранных образцах лав, бомб и пеплов БТТИ.

Однако полученные различия нельзя уверенно считать надежными, так как концентрации халькофильных элементов заметно изменялись в ходе извержения. Правильнее сравнивать концентрации этих элементов в синхронно (т. е. в течение одного дня) отобранных образцах. Как видно на рис. 3, для Mo, Zn и Pb действительно наблюдается заметное обогащение лав по сравнению с бомбами и пеплами, а для Mo, кроме того, и обогащение бомб относительно пеплов. И только концентрации Cu в различных по фациальной принадлежности продуктах извержения статистически не различаются. Эти наблюдения указывают, по-видимому, на высокую летучесть Mo, Zn, Pb (и значительно меньшую летучесть Cu) при слабой сорбции их на поверхности пепловых частиц. Содержание халькофильных элементов в базальтах на различном удалении от истока лавы (от 0,1 до 3,0 км) существенно не меняется (табл. 4).

В четырех разрезах, сделанных на лавовых потоках Южного прорыва (табл. 5), видна тенденция обеднения верхней корки потока Mo, Zn и Pb. Цинк накапливается в более низких зонах лавовых потоков, более высокие содержания Mo и Pb наблюдаются в кровле потока (под коркой).

Таблица 4

Содержание халькофильных элементов в базальтах на различном удалении от истока лавового потока (все образцы отобраны из лав, излившихся в феврале 1976 г.), г/т

Расстояние от истока потока, км	Номер образца	Элемент				Расстояние от истока потока, км	Номер образца	Элемент			
		Cu	Mo	Pb	Zn			Cu	Mo	Pb	Zn
0,1	A-648	250	1,5	6	35	1,0	A-649	250	1,6	6	45
0,2	A-647	320	1,6	6	40	1,5	A-621	270	1,7	7	50
0,3	A-640	250	1,5	7	40	2,0	A-627	300	1,5	8	40
0,3	A-639	220	1,6	8	50	2,5	A-652	200	1,7	10	40
0,4	A-618	180	1,4	8	40	3,0	A-653	180	1,5	6	38

Содержание халькофильных элементов в разрезах лавовых потоков, г/т

	Номер разреза	Корка потока	Кровля (под коркой)	Средняя часть	Подшоша	Элемент	Номер разреза	Корка потока	Кровля (под коркой)	Средняя часть	Подшоша
Cu	I	240	300	220	210	Pb	I	7	9	10	8
	II	220	250	180			II	9	8	8	
	III	180	150	220			III	7	8	2,5	
	IV	250	220	200			IV	6	7	5	
Mo	I	1,3	1,4	1,2	1,5	Zn	I	45	50	50	70
	II	1,2	1,6	1,4			II	50	60	50	
	III	1,5	1,6	1,6			III	50	60	80	
	IV	1,4	1,5	1,1			IV	55	60	70	

Примечание. В разрезе I номера образцов для корки — А-642, кровли — А-645, средней части — А-644, подошвы — А-643; в разрезе II — соответственно — 6095, 6095/1, 6095/2; в разрезе III — А-663, А-662, А-661; в разрезе IV — 6059, 6059/1, 6059/2.

Содержание Cu не имеет тенденции накопления в какой-либо зоне разреза лавового потока.

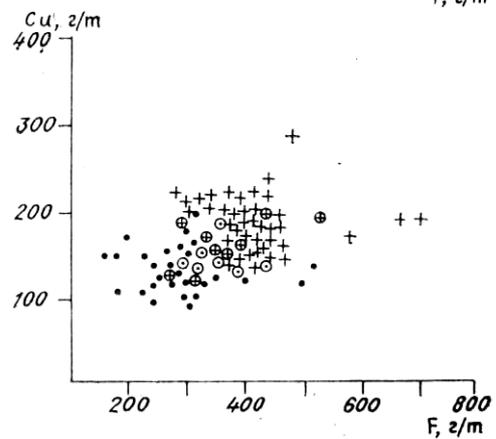
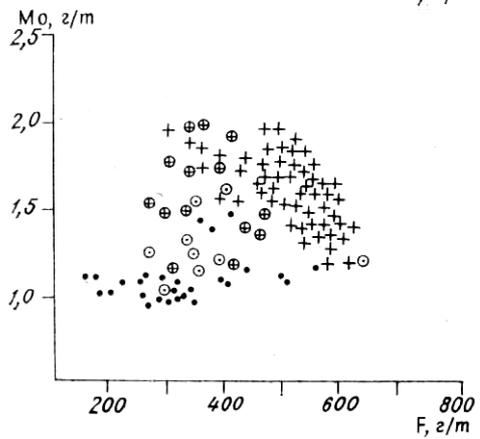
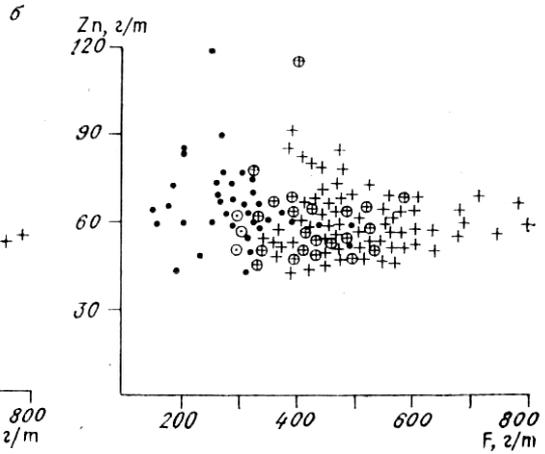
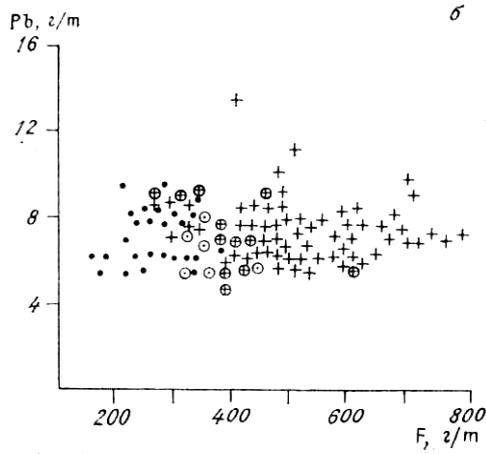
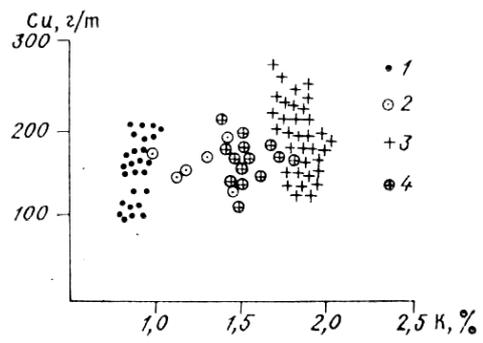
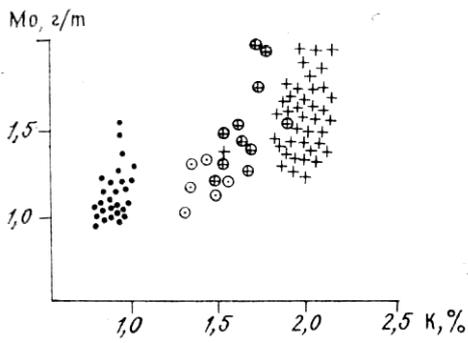
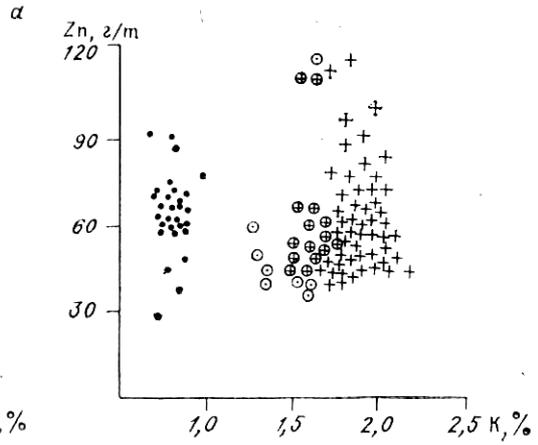
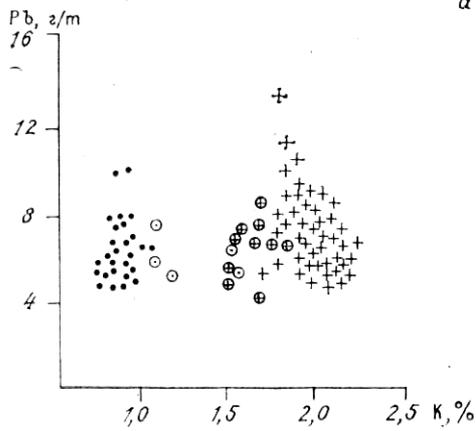
Концентрации Mo для пород извержения обнаруживают в общем довольно отчетливую прямую корреляцию с содержаниями K и F (рис. 4). Для меди такая корреляция несколько более слабая, а для Zn и Pb отсутствует вовсе. Следует заметить, однако, что даже для Mo, если рассматривать данные для каждого прорыва отдельно, зависимости ни от содержания K, ни от F не наблюдается.

Обсуждение результатов. Изложенный материал показывает, что концентрации Mo, Cu, Zn и Pb в базальтах БТТИ обнаруживают отчетливую связь с их валовым химическим составом. Содержания Mo, Cu и Pb заметно более высокие, а Zn — низкие в субщелочных глиноземистых базальтах (Южный прорыв) по сравнению с магнезиальными базальтами умеренной щелочности (Северный прорыв). Концентрации анализированных элементов в базальтах промежуточного состава также промежуточные, что не противоречит гипотезе об образовании этих разностей за счет смешения расплавов, соответствующих по составу преобладающей массе пород каждого прорыва [3].

По классификации Д. М. Шоу [17], Pb и Mo относятся к фельсифильным, а Cu и Zn к фемафильным элементам. Первые обычно ассоциируют с породами, обогащенными полевыми шпатами и кварцем, вторые — с породами, обогащенными железисто-магнезиальными минералами. Кроме того, установлено, что Pb кристаллохимически связан с K, а Cu и Zn — с Mg и Fe [13]. Указанные различия в свойствах анализированных элементов объясняют природу повышенных концентрации Pb и Mo в лавах Южного прорыва, обогащенных полевошпатовым компонентом и калием, а Zn — в лавах Северного прорыва, отличающихся меланократовостью и высоким содержанием магния, тогда как геохимическое поведение Cu кажется аномальным. Необычность распределения Cu в базальтах БТТИ подчеркивается данными по другим регионам, в частности Исландии [5] и океаническим островам [18], где установлено, что щелочные базальты по сравнению с толеитовыми заметно обеднены Cu.

Известно, однако, что Cu обладает высоким химическим сродством к сере. Судя по данным И. А. Меняйлова с соавторами [8], магматические газы и конденсаты газов Южного прорыва по сравнению с таковыми Северного были заметно обогащены S. Возможно, что сходная специфика в отношении содержания S была характерна и для соответствующих расплавов, что и может объяснить аномальность распределения Cu. Следу-

Рис. 4. Корреляция концентраций Pb—K, Zn—K, Mo—K, Cu—K (a) и Pb—F, Zn—F, Mo—F, Cu—F (б) в базальтах БТТИ. Базальты Северного прорыва: 1 — высокомагнезиальные, 2 — промежуточные; базальты Южного прорыва: 3 — субщелочные глиноземистые, 4 — промежуточные.



ет заметить, что петрогеохимические аналоги базальтов Южного прорыва — субщелочные глиноземистые («мегаплагиофировые») базальты, широко развитые в фундаменте Ключевского дола и в Толбачинской ареальной зоне, по данным [7], также обогащены Cu (см. табл. 2).

Особенности распределения Cu в породах БТТИ могут, по-видимому, также служить доводом против гипотезы кристаллизационной дифференциации как механизма, обусловившего образование базальтов разного типа из единого магматического источника: отсадка меланократовой кристаллической фазы должна вызвать обеднение остаточного расплава (под которым подразумеваются лавы Южного прорыва) медью, тогда как в действительности наблюдается обратная картина.

В периоды извержения преобладающих масс каждого прорыва, когда содержания главных петрогенных элементов оставались стабильными, концентрации изученных элементов испытывали заметные колебания, достаточно четко увязывающиеся с динамикой вулканических событий. При этом поведение Cu и Pb было прямо противоположно поведению Mo и Zn. Так, этап наиболее активной взрывной активности Северного прорыва (первые две недели его деятельности) был отмечен максимальными концентрациями Cu и Pb и минимальными Mo и Zn. Сходная картина в отношении Cu, Pb и Mo наблюдалась во время апрельской активизации на Южном прорыве (хотя вариаций в содержании Zn в это время не отмечено). На Северном прорыве переход от взрывной стадии извержения к эффузивно-взрывной сопровождался не только уменьшением концентраций Cu и Pb и увеличением концентраций Mo и Zn, но и заметным возрастанием дисперсии содержаний всех изученных элементов. Высокие дисперсии содержаний Mo, Cu и Pb отмечены и во время апрельской вспышки взрывной активности на Южном прорыве. Все эти наблюдения приводят к мысли, что распределение изученных элементов в твердых вулканических продуктах во многом обусловлено взаимодействием расплав — летучие компоненты и переходом некоторого количества изученных компонентов в газовую фазу.

Наблюдения над вариациями концентраций Mo, Cu, Zn и Pb в синхронно отобранных образцах лав, бомб и пеплов подтверждают это предположение. Действительно, обогащение Mo, Zn, Pb образцов лав по сравнению с образцами бомб и пеплов (и бомб по сравнению с пеплами Mo) предполагает, что последние (особенно пеплы) потеряли часть изученных металлов вместе с газом при извержении. В то же время статистическое равенство концентраций Cu в вулканических породах разной фациальной принадлежности позволяет думать, что для Cu этот процесс менее вероятен. Сказанное находит подтверждение в данных И. А. Меняйлова с соавторами [8], которые на основе изучения металлической нагрузки конденсатов магматических газов показали, что Pb и Zn по способности миграций из расплава в газовую фазу относятся к «подвижным» элементам (в газовую фазу переходит n % элемента от содержания его в расплаве), тогда как Cu — к «слабоподвижным» элементам (выносится только $n \cdot 10^{-1}$ %). Более высокая способность по сравнению с Cu к переносу в парогазовой фазе была подтверждена также в опытах В. П. Филипенко и В. В. Пономарева [13] по взаимодействию высокотемпературной паровоздушной смеси с лавами и шлаками Толбачинского извержения. По особенностям распределения элементов между газовой фазой и поверхностью пепловых частиц Cu, Zn и Pb, согласно И. А. Меняйлову и др. [8], попадают в группу элементов, «остающихся в первой фазе», т. е. характеризуются слабой сорбцией на поверхности пепловых частиц. По данным этих авторов, на пеплах осаждается лишь 12% Cu, 4% Zn и 1% Pb от их количества в газах. При этом И. А. Меняйлов и его соавторы полагают, что халькофильные элементы переносятся в газах в форме хлоридов и что наблюдаемый эффект обеспечивается достаточно высокой упругостью паров хлоридов Cu, Zn и Pb при атмосферных условиях. К сожалению, они не анализировали содержание Mo в конденсатах, но наши наблюдения позволяют полагать, что этот элемент не менее высоколетуч, чем Pb и Zn.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Андреев В. Н.** Петрографические особенности базальтов Северного прорыва Большого трещинного Толбачинского извержения 1975—1976 гг. — Вулканология и сейсмология, 1979, № 2, с. 72—76.
2. **Виноградов А. П.** Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры. — Геохимия, 1962, № 7, с. 555—571.
3. **Вольнец О. Н., Флеров Г. Б., Андреев В. Н. и др.** Петро-геохимические особенности пород Большого трещинного Толбачинского извержения 1975—1976 гг. в связи с вопросами петрогенезиса. — В кн.: Геологические и геофизические данные о Большом трещинном Толбачинском извержении 1975—1976 гг. М.: Наука, 1978, с. 86—105.
4. **Вольнец О. Н., Флеров Г. Б., Хренов А. П., Ермаков В. А.** Петрология вулканических пород трещинного Толбачинского извержения 1975 г. — Докл. АН СССР, 1976, т. 228, № 6, с. 1419—1422.
5. **Исландия и Срединно-океанический хребет.** Геохимия/ Герасимовский В. И., Поляков А. И., Дурасова Н. А. и др. М.: Наука, 1978. 184 с.
6. **Леонова Л. Л.** Геохимия четвертичных вулканических пород Курильской островной дуги. — В кн.: Магмообразование и его отражение в вулканическом процессе М.: Наука, 1977, с. 148—157.
7. **Леонова Л. Л., Пополитов Э. И., Вольнец О. Н. и др.** Типы четвертичных базальтов Камчатки в связи с проблемой первичных магм. — В кн.: Петрологические исследования базитов островных дуг. М.: изд. ИФЗ АН СССР, 1978, с. 157—176.
8. **Меняйлов И. А., Никитина Л. П., Шапарь В. Н.** Геохимические особенности эггалайи Большого трещинного Толбачинского извержения. М.: Наука, 1980. 236 с.
9. **Петров Л. П., Вольнец О. Н., Флеров Г. Б. и др.** Распределение F, В и Ве в породах Толбачинского извержения 1975—1976 гг. — Вулканология и сейсмология, 1979, № 3, с. 18—29.
10. **Пампура В. Д., Вольнец О. Н., Пополитов Э. И.** Геохимические особенности четвертичных вулканитов. — В кн.: Долгоживущий центр эндогенной активности Южной Камчатки. М.: Наука, 1980, с. 66—76.
11. **Пилипенко В. П., Пономарев В. В.** Взаимодействие высокотемпературной паровоздушной смеси с лавами и шлаками вулкана Толбачик. — Вулканология и сейсмология, 1979, № 5, с. 37—43.
12. **Сотников В. И., Иванов Б. В.** Молибден как один из показателей динамики вулканического процесса. — В кн.: Глубинное строение, сейсмичность и современная деятельность Ключевой группы вулканов. Владивосток: изд. ДВНЦ АН СССР, 1976, с. 85—88.
13. **Таусон Л. В.** Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М.: Наука, 1977. 280 с.
14. **Титаева Н. А., Ермаков В. А., Зозуля Т. А. и др.** Геохимические типы базальтов Большого трещинного Толбачинского извержения 1975—1976 гг. — В кн.: Петрологические исследования базитов островных дуг. М.: изд. ИФЗ АН СССР, 1978, с. 69—111.
15. **Федотов С. А.** О подъеме основных магм в земной коре и механизме трещинных базальтовых извержений. — Изв. АН СССР. Сер. геол., 1976, № 10, с. 5—23.
16. **Федотов С. А., Хренов А. П., Чирков А. М.** Большое трещинное Толбачинское извержение 1975 г., Камчатка. — Докл. АН СССР, 1976, т. 228, № 5, с. 1193—1196.
17. **Шоу Д. М.** Геохимия микроэлементов кристаллических пород. Л.: Недра, 1969. 208 с.
18. **Энгель Дж. А. Е., Энгель Ц. Г.** Горные породы ложа океана. — В кн.: Основные проблемы океанологии. М.: Наука, 1968, с. 183—217.