

РОЛЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПРОДУКТОВ В ФОРМИРОВАНИИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Е. К. МАРХИНИН

(Институт вулканологии СО АН СССР)

ВУЛКАНИЗМ И ЛИТОСФЕРА

По общепринятому мнению, источники магмы находятся в мантии. Это положение подтверждается в ряде статей настоящего сборника. Именно из мантии на поверхность земли выносятся вулканы огромное количество раскаленного вещества. Оценить его объем нелегко: во-первых, 70,8% поверхности Земли скрыто от непосредственного наблюдения водами океана; во-вторых, при извержениях многих вулканов огромные массы вулканической пыли разносятся ветрами на большие расстояния, покрывая землю тончайшим слоем, и только с большим трудом могут быть учтены; в-третьих, несомненно, что об извержениях очень многих вулканов, происшедших даже в течение последних сотен лет, мы просто ничего не знаем. Это касается вулканов, расположенных в малонаселенных областях, и в особенности их относительно несильных извержений.

Таким образом, если мы предпримем попытку оценить количество раскаленного вещества, выброшенного из недр Земли вулканами за последнюю сотню — другую лет, по имеющимся данным о происшедших за это время извержениях, то получим заведомо заниженную цифру. Ниже приведены данные только о восьми особенно сильных извержениях.

Тамбора,	1815 г. . . .	186 км ³ (средняя из ряда оценок)
Косегвина,	1835 г. . . .	10 >
Кракатау,	1883 г. . . .	18 >
Бандайсан,	1888 г. . . .	1,2 >
Ксудач,	1907 г. . . .	3 >
Катмай,	1912 г. . . .	28 >
Безымянный,	1956—1961 г.	3 >
Гунунг Агунг,	1963 г. . . .	1 >
Всего		250,2 км ³

Общая масса продуктов извержений за 1963 г. составляет 5×10^{11} г, или в среднем приблизительно 3×10^9 г в год. Привлекает к себе внимание, что весь этот материал был выброшен вулканами на островных дугах или родственных им структурах. Заметим при этом, что, например, из 178 извержений вулканов Камчатско-Курильской дуги, зарегистрированных в это время (Мархинин и др., 1962), мы учли только два — очень сильные и относительно хорошо изученные. А ведь в числе остальных 176 извержений тоже были очень сильные, например извержение вулкана Севергина в 1933 г. но о количестве выброшенного тогда материала нет определенных сведений. Приблизительно таково же соотношение учтенных и неучтенных извержений и для других районов Земли.

Насколько может быть занижена полученная цифра: в два, в три раза или, скажем, на целый порядок? Если стать на точку зрения тех исследователей, которые считают, что область наибольшего проявления вулканизма в пределах поверхности Земли — ложе Тихого океана (Зеленов, 1963), то придется признать ее заниженной во много раз. Если же исходить из того, что процессы вулканизма ярче всего проявляют-

ся на островных дугах и родственных им структурах, то можно предполагать, что она занижена не более чем в два-три раза.

Какой же должна быть масса вулканических продуктов, извергнутых за всю геологическую историю? Если из ряда оценок возраста Земли взять среднюю, а именно 4,5 млрд. лет, и исходить из предположения, что в прошлые геологические эпохи интенсивность вулканизма была равна современной, то надо признать, что за геологическую историю изнедр мантии на поверхность Земли должно было быть вынесено по крайней мере более 14×10^{18} т вещества.

Однако есть основания думать, что в прошлые геологические эпохи вулканическая деятельность была более интенсивной, чем в настоящее время. А. Б. Ронов, определявший объемы заведомо вулканогенных формаций прошлых геологических периодов, пишет: «Периодическое изменение интенсивности вулканизма и связанных с ним процессов происходило на фоне общего сокращения площади развития вулканических процессов. Эффузивная деятельность, как известно, приурочена в основном к геосинклиналям и на платформах, за исключением верхнетриасовой эпохи, проявлялась слабо. В последокембрийское время от одного тектонического цикла к другому отчетливо прослеживается рост площади платформ за счет сокращения площади, занятой геосинклиналями. На основании этого следовало бы ожидать, что параллельно росту площади платформ должна была уменьшаться суммарная для всей Земли абсолютная интенсивность вулканической и интрузивной деятельности» (1959, стр. 21). Количественные данные подтвердили это предположение для изученного А. Б. Роновым интервала времени.

Сопоставим полученные цифры для массы вещества, выброшенного вулканами за геологическую историю, с массой земной коры. Если исходить из средней толщины коры под континентами 35 км, под океанами 10 км, то при среднем удельном весе 2,8 масса ее составит $24,6 \times 10^{18}$ т. Мы видим, что масса вещества, выброшенного вулканами за геологическую историю,— того же порядка, что и масса земной коры.

Отсюда естествен выход, к которому раньше нас пришел Д. Т. Вильсон (1961), что все вещество земной коры могло быть с избытком создано вулканической деятельностью. Подчеркнем, что, давая нашу заниженную оценку массе вещества, выброшенного вулканами Земли за последние 163 года, мы приняли во внимание только рыхлый пирокластический материал, вообще говоря, андезитового состава. Мы могли это сделать потому, что известно, что 90—95% продуктов, извергаемых вулканами на островных дугах и родственных им структурах, составляет пирокластический материал. Об этом свидетельствуют работы многих вулканологов. Согласно нашим определениям, количество пирокластических продуктов исторических извержений вулканов Камчатско-Курильской дуги оказалось равным 94% (Мархинин и др., 1962).

Интересен пример одного из пароксизмов хорошо изученного нами извержения вулкана Безымянного весной 1961 г. (Мархинин и др., 1963). При этом извержении образовался агломерато-грязевой поток длиной до 30 км, с экструзивного купола скатилось множество раскаленных каменных лавин и из поднявшихся на высоту нескольких километров пылевых туч выпал пепел, который тонким слоем (несколько миллиметров) покрыл площадь в 7000 км^2 .

Тщательный подсчет количества выброшенного вулканом вещества дал такие результаты: агломератовый и грязевый потоки вместе — $450\,000 \text{ т}$, пепел, распространившийся на большую площадь, — $1\,750\,000 \text{ т}$. Таким образом, оказалось, что именно тонкая вулканическая пыль, которую ветер мог уносить от вулкана на сотни и даже тысячи километров и которая могла выпасть тончайшим слоем на суше или на морском дне, была главным продуктом извержения вулкана.

В самом агломерато-грязевом потоке 60—70% приходилось на песок и пыль с частицами менее 1 мм в поперечнике. Частицы пепла, составившие основную массу извергнутого материала, имели в поперечнике около 0,1 мм. Объем такой частицы приблизительно 0,001 мм³, поверхность 0,06 мм². В глыбе плотного андезита объемом 1 м³ содержится 1x10¹² таких частичек. Их суммарная поверхность в 10 тыс. раз больше, чем поверхность плотной глыбы лавы такого же объема. Несомненно, что при прочих равных условиях скорость изменения обломков лавы пропорциональна их поверхности и, следовательно, андезит, распыленный силой расширяющихся газов в тонкий пепел, будет изменен приблизительно в 10 тыс. раз скорее, чем кусок плотного андезита той же массы. Следует добавить, что вулканическая пыль уже при своем рождении оказывается в кислотной среде, благоприятствующей ее изменению. Легкость ее способствует транспортировке воздушными течениями и водой и перемешиванию с морскими и континентальными осадками различного генезиса.

Средний состав лав Камчатки и Курильских островов по данным 67 полных силикатных анализов соответствует андезиту (Мархинин, Сапожникова, 1962). Для сравнения приводится средний состав земной коры по Кларку и Вашингтону, также соответствующий андезиту}

	Данные Мархинина	Данные Кларка и Вашингтона
SiO ₂	57,71	59,07
TiO ₂	0,83	1,03
Al ₂ O ₃	17,16	15,22
Fe ₂ O ₃	4,45	3,10
FeO	4,05	3,71
MnO	0,16	0,11
MgO	3,41	3,45
CaO	6,78	5,10
Na ₂ O	3,25	3,71
K ₂ O	1,24	3,11
H ₂ O ⁺	0,53	} 1,30
H ₂ O ⁻	0,26	
Сумма	99,83	
P ₂ O ₅	—	0,30
CO ₂	—	0,35

Близкое совпадение состава основной массы извергаемых вулканами продуктов со средним составом земной коры подтверждает высказанное мнение о том, что поставщиком материала, из которого формировалась и формируется кора, служили и служат вулканы.

Мы не можем, к сожалению, оценить количество вещества, внедрившегося в земную кору в течение геологической истории, но естественно предполагать, что интрузивный процесс имел подчиненное значение и, как правило, был сопряжен с выносом огромного количества вулканического вещества на поверхность. Ассимиляция поднимающейся из глубин Земли магмой уже сформировавшихся пород земной коры, как отмечал Г. С. Горшков (1957), по-видимому, не играла большой роли, но, по нашему мнению, была все же достаточной для того, чтобы весьма активно способствовать образованию в земной коре неглубоких вулканических очагов на путях подъема магмы из глубинного источника к поверхности Земли.

В последние годы сложилось представление, что многие массивы горных пород, ранее считавшиеся интрузивными, на самом деле оказались сложенными глубокометаморфизованными или даже переплавлен-

ными осадочными породами. В этой связи интересна недавно опубликованная статья В. Дикинсона (Dickinson, 1962). Сходство батолитовых пород и юрских андезитов дало ему основание предполагать, что на западе Северной Америки в мобильном поясе Фрейзер гранитная магма частично образовалась за счет переплавления геосинклинальных вулканических пород.

Все больше сторонников находит представление, развиваемое Г. Д. Афанасьевым (1960), об условности разделения земной коры на «базальтовый» и «гранитный» слои, о том, что сейсмические границы обусловлены различием не столько в составе, сколько в агрегатном состоянии и, в особенности, в плотности вещества.

Характерен вывод И. А. Резанова (1962) о том, что земная кора под материковыми платформами состоит не из базальтового и гранитного слоев, а сложена метаморфическими породами.

Все это находится в полном соответствии с нашими представлениями о том, что земная кора формировалась и формируется из продуктов вулканизма, в первую очередь — из вулканической пыли, поступавших и поступающих из глубин Земли в круговорот геологических процессов на ее поверхности.

ВУЛКАНИЗМ И ГИДРОСФЕРА

Горансон в 30-х годах первый показал, что в силикатном расплаве, подобном гранитному, может быть растворено не более 10 вес.% воды. Долгое время существовала точка зрения об относительно малой растворимости воды в силикатных расплавах базальтового состава.

Недавно Н. И. Хитаров получил точные экспериментальные данные о растворимости воды в гранитном и базальтовом расплавах при различных давлениях и температурах. Он пришел к выводу, что «заметное сближение при 1000° и 3000 атм в значениях величин растворимости воды в гранитном и базальтовом расплавах указывает на то, что не исключена вероятность выравнивания растворимости воды в них в ближайшей высокотемпературной области, несмотря на различия их химического состава» (1961, стр. 9).

Экспериментальные данные Горансона и Хитарова показали верхний возможный предел содержания воды в магме. В 1957 г. нами было показано, что образование вулканического пепла в принципе невозможно, если магма содержит менее 0,1 вес.% воды. Позднее (1953) нами был предложен прямой метод определения количества газовых компонентов магмы, участвующих в вулканических взрывах. Этот метод был применен для ряда конкретных случаев (Мархинин и др., 1963; Мархинин, 1962, 1963).

Некоторые из полученных оценок отражены в табл. 1.

Таблица 1

Количество газа, участвовавшего во взрыве,
по данным разных авторов

Вулкан	Год извержения	Газ, % от веса магмы	Автор описания извержения
Асама	1783	3,99	Т. Минаками
Сакурасима	1914	1,26	Т. Матузова
Кусатсу-Ширанезия . . .	1932	1,60	Н. Тсуйя
Безымянный	1956	2,50	Г. С. Горшков
Безымянный	1961	3,80	Е. К. Мархинин
		(средн.)	и др.
Ключевской	1961	0,7	Е. К. Мархинин
	Среднее значение	2,3	

Другие приблизительные оценки количества газов, выделяющихся из магмы при извержениях, полученные авторитетными учеными, находятся в тех же пределах. Наша средняя оценка (2,3%), по-видимому, окажется несколько заниженной, если распространять ее на наиболее сильные взрывные извержения, подобные тем, которые указаны выше. Поэтому мы округлим ее в большую сторону и примем 3 вес. % воды, участвующей в вулканических взрывах, как наиболее вероятную цифру.

Выше мы подсчитали, что масса земной коры составляет приблизительно $24,6 \times 10^{18} \text{ т}$. Исходя из того, что все вещество земной коры имеет, в конечном счете, вулканическое происхождение, и учитывая, что из магмы выделяется в среднем 3% воды, находим, что за время формирования земной коры на поверхность Земли из мантии должно было поступить при извержениях $7,4 \times 10^{17} \text{ т}$ воды. Это значит, что ежегодный средний «приток» вулканической воды $1,3 \times 10^8 \text{ т}$.

Ассимиляция вадозной воды магмой, поднимающейся из мантии через земную кору, мало вероятна. Согласно данным Н. И. Хитарова (1960), магма по мере подъема к поверхности земли и уменьшения внешнего давления имеет тенденцию сбрасывать воду, а не ассимилировать ее (табл. 2).

Таблица 2

Содержание воды в расплаве (в %)

Давление, атм	Глубина, м	Температура, °С	Базальты	Граниты
1000	3,700	900	2,4	2,8
		1000	2,4	2,8
2000	7,400	900	2,6	5,3
		1000	3,4	4,7
3000	11,400	900	3,4	6,7
		1000	5,3	5,7

Н. И. Хитаров пишет: «Рассматривая изменения в ходе кривых растворимости воды в расплаве базальтового состава в условиях 900°, можно видеть, что основная магма в своем продвижении с нижних структурных этажей (например, с 3000 атм) в верхние горизонты с меньшим давлением, например в 2000 и 1000 атм, должна стремиться сбросить преобладающую часть растворенной воды в нижних частях разреза. Это же явление должно быть ей свойственно и в условиях температуры в 1000° С» (1961, стр. 9).

Таким образом, логично считать, что вулканическая вода по своей природе ювенильна.

Масса воды в мировом океане $\sim 14,4 \times 10^{17} \text{ т}$. Известно, что она составляет 97% всей воды в гидросфере (Дикон, 1961). Следовательно, около половины воды гидросферы создано вулканическими извержениями. Другую половину, по-видимому, составляет вода, сброшенная магмой при ее подъеме к поверхности.

Такая точка зрения подтверждается расчетом Юри, который пришел к выводу, что в начале геологической истории на Земле было около 10% воды современного мирового океана (Urey, 1952).

Естественно, что за счет вулканических извержений в состав гидросферы поступает не только вода, но и множество других компонентов как анионов, так и катионов. Главные анионы морской воды, такие, как Cl, SO₄, CO₂, F, B и другие,— это в то же время главные составляющие вулканических газов. Укоренилась точка зрения, что основные катионы

морской воды Na, K, Mg, Ca и другие образовались в прошлом за счет выветривания древних пород. Против нее сейчас активно выступает К. К. Зеленев (1963б). По его мнению как анионы, так и катионы океанической воды накапливались главным образом благодаря подводному вулканизму.

Мы не согласны ни с традиционной точкой зрения, ни с точкой зрения К. К. Зеленева. Из приведенных нами выше ориентировочных расчетов ясно, что основная масса вулканических продуктов выбрасывается из глубин Земли на островных дугах и родственных им структурах. Материал этот на 95% рыхлый, он активно сносится в море и идет на образование осадочных пород. Но еще быстрее, чем сносится в море этот материал, из него вымываются атмосферными водами адсорбированные им растворимые соли Na, K, Ca, Mg и других металлов, т. е. преимущественно именно главных катионов морской воды. В табл. 3 приводятся данные анализов водных вытяжек пепла извержения вулкана Безымянного в 1955 г., опубликованные Л. А. Башариной (1958).

Считая, что исходным материалом для формирования земной коры служили пирокластические продукты, и принимая во внимание, что данные табл. 3 типичны для рыхлых вулканических образований, оценим

Таблица 3

Химический состав водных вытяжек пепла извержения вулкана Безымянного в 1955 г.
(в мг на 100 г воздушно-сухого пепла)

Компоненты	Номера образцов									Среднее содержание ¹⁰⁰
	749а	749б	749в	751	752	752д	753а	753б	755	
Cl ⁻	167,0	115,0	530,0	178,0	267,0	190,0	135,0	198,0	76,0	206
F ⁻	6,7	1,5	Не опред.	4,5	3,5	4,0	3,9	3,0	6,0	4,1
Br ⁻	1,6	2,1	—	1,9	1,2	1,6	Следы	Следы	1,2	1,1
J ⁻	Следы	—	—	Следы	—	—	—	—	—	Следы
SO ₄ ²⁻	438,0	356,0	938,0	496,0	650,0	289,0	237,0	464,0	386,0	462
SO ₃ ²⁻	3,8	6,2	—	4,8	2,1	2,4	3,4	3,6	4,6	3,4
H ₂ S	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
HCO ₃	104,0	12,0	—	19,0	56,0	46,0	42,0	18,0	60,0	39,7
Na ⁺	32,0	10,0	124,0	41,0	24,0	16,8	17,5	16,6	35,0	35,2
K ⁺	11,5	3,0	34,5	10,0	13,0	6,7	3,8	2,4	13,0	10,9
Ca ²⁺	185,0	84,0	489,0	182,0	232,0	171,0	109,0	180,0	102,0	192,7
Mg ²⁺	17,3	26,8	38,8	27,7	37,0	26,0	21,0	25,0	24,0	27,1
Al ³⁺	21,0	3,5	18,0	8,0	9,0	6,0	6,5	11,0	3,5	9,6
Fe ³⁺	4,0	1,1	2,9	2,0	1,5	1,4	3,2	3,0	1,1	2,2
Fe ²⁺	6,5	2,0	11,0	2,8	2,6	2,2	2,6	2,0	2,5	3,8
SiO ₂	15,0	4,5	2,5	10,0	9,0	12,0	20,0	5,0	8,0	9,6
H ₃ BO ₃	3,5	1,5	1,8	3,0	3,6	1,6	2,8	2,4	4,2	2,7
S	18,0	25,6	Не опред.	17,9	32,0	22,4	23,5	22,0	16,4	22,2
Итого										1022,3

количество основных компонентов, которое могло быть вынесено в море за геологическую историю Земли за счет растворения адсорбированных пирокластикой солей (табл. 4).

Сравним эти цифры с данными Э. Д. Гольдберга (1963) о содержании основных компонентов в мировом океане (табл. 5).

Мы видим, что легкорастворимых солей, связанных с пирокластическим материалом, с избытком хватает для формирования солевого состава мирового океана.

Количество основных компонентов (в *m*), вынесенных в море

Компоненты	От	До	В среднем
Cl ⁻	$18,7 \times 10^{15}$	130×10^{15}	51×10^{15}
F ⁻	$0,4 \times 10^{15}$	$1,6 \times 10^{15}$	$1,0 \times 10^{15}$
B ₂	0	$0,5 \times 10^{15}$	$0,3 \times 10^{15}$
SO ₄ ⁻²	58×10^{15}	230×10^{15}	116×10^{15}
SO ₃ ⁻²	0	$1,5 \times 10^{15}$	$0,8 \times 10^{15}$
HCO ₃ ⁻	$3,0 \times 10^{15}$	$25,6 \times 10^{15}$	$9,8 \times 10^{15}$
Na ⁺	$2,5 \times 10^{15}$	30×10^{15}	$8,7 \times 10^{15}$
K ⁺	$0,6 \times 10^{15}$	$8,5 \times 10^{15}$	$2,7 \times 10^{15}$
Ca ²⁺	25×10^{15}	120×10^{15}	47×10^{15}
Mg ⁺	$4,3 \times 10^{15}$	$9,5 \times 10^{15}$	$6,7 \times 10^{15}$
Al ³⁺	$0,9 \times 10^{15}$	$5,2 \times 10^{15}$	$2,3 \times 10^{15}$
Fe (Fe ³⁺ +Fe ²⁺)	$0,8 \times 10^{15}$	$2,5 \times 10^{15}$	$1,5 \times 10^{15}$
SiO ₂	$0,6 \times 10^{15}$	$4,9 \times 10^{15}$	$2,4 \times 10^{15}$
H ₂ BO ₃	$0,4 \times 10^{15}$	$1,0 \times 10^{15}$	$0,7 \times 10^{15}$
S	$4,0 \times 10^{15}$	$7,9 \times 10^{15}$	$5,5 \times 10^{15}$

Таблица 5

Количество основных компонентов (в *m*) в мировом океане

Компоненты	Концентрация, мг/л	Общее содержание в мировом океане	Форма содержания в морской воде и примечание
Cl	19000	$27,2 \times 10^{15}$	Cl ⁻
F	1,3	$18,7 \times 10^{12}$	F ⁻
Br	65	$9,3 \times 10^{13}$	Br ⁻
SO ₄	2650	$3,8 \times 10^{15}$	S ₄ ⁻²
HCO ₃	142,3	$0,2 \times 10^{15}$	Весь углерод океана пересчитан на HCO ₃
Na	10500	$15,1 \times 10^{15}$	Na ⁺
K	380	$0,5 \times 10^{15}$	K ⁺
Ca	400	$0,6 \times 10^{15}$	Ca ²⁺ , CaSO ₄
Mg	1350	$1,9 \times 10^{15}$	Mg ²⁺ , MgSO ₄
Al ³⁺	0,01	$14,4 \times 10^9$	
Fe	0,01	$14,4 \times 10^9$	Fe(OH) ₃ (твердая)
H ₃ BO ₃	26,4	$3,8 \times 10^{13}$	Весь бор океана пересчитан на H ₃ BO ₃

Не отрицая известной роли выноса катионов в море за счет размыва древних пород и признавая большое значение подводного вулканизма, мы должны считать основным источником и анионов и катионов морской воды деятельность вулканов островных дуг и родственных им структур.

ВУЛКАНИЗМ И АТМОСФЕРА

В составе основных газов активных вулканов, с температурами на выходах от 95 до 760° С, пары воды составляют от 88 до 99,6%. Остальные 12—0,4% приходятся в основном на HCl, CO₂, H₂, H₂S и N₂. Эти газы выделяются в различных пропорциях, которые зависят главным

образом от температуры. В низкотемпературных струях отсутствуют H_2 , HCl , SO_2 . Из перечисленных газовых компонентов нас в данном случае интересуют два — азот и углекислый газ. Их можно обнаружить во всех выходах вулканических газов, от наиболее высокотемпературных до самых низкотемпературных.

Вулканический азот и углекислый газ — постоянные источники основных газов атмосферы — азота и кислорода.

При отборе вулканических газов в пробы почти неизбежно попадает воздух. Поэтому из данных анализа обычно исключают весь кислород и тот азот, который находится с ним в «воздушном» соотношении. Но почти всегда наблюдается избыточный азот. Некоторые исследователи склонны и этот азот считать воздушным, полагая, что часть кислорода воздуха, попавшая в пробу, расходуется на окисление.

Оценить, какая же часть азота в пробе — ювенильная, вулканическая, трудно. Но само наличие в пробах ювенильного азота у вулканологов, специально занимающихся проблемой состава вулканических газов, не вызывает сомнений.

Логический вывод о вулканическом происхождении атмосферного азота мы не можем пока, к сожалению, подтвердить расчетом. Следует только добавить, что немало азота поступает из недр Земли, в соединении с водородом, в виде аммиака.

Вулканическое происхождение атмосферного кислорода не нуждается в особых доказательствах. Хорошо известно, что углекислый газ — важнейший компонент вулканических газов, а также и то, что массы углекислого газа постоянно перерабатываются в процессе фотосинтеза в органическое вещество и кислород. В этом смысле залежи каменного угля и нефти имеют вулканическое происхождение, так как источник их углерода — вулканическая деятельность, поставляющая углерод в соединении с кислородом из глубин Земли.

В заключение нам хочется обратить внимание на следующие любопытные соотношения: отношение веса атмосферы к весу гидросферы и к весу литосферы равно 1 :300 :5000; отношение газов, воды и твердых продуктов в вулканических извержениях приблизительно 1:3:100.

Большие различия этих отношений объясняются двумя основными причинами. Во-первых, как мы показали, только около половины всей воды гидросферы могло быть создано вулканическими извержениями. Во-вторых, только ничтожная часть газов, поставляемых извержениями на поверхность Земли, пошла на формирование атмосферы. Большая часть их превратилась в твердые вещества (углерод, серу) или была растворена в воде (хлористый водород, сернистые газы).

Мы отдаем себе отчет в некоторой гипотетичности изложенных представлений. Несомненно, приведенные цифры носят сугубо ориентировочный характер. Безусловно, мы пренебрегли многими важными величинами (например, массой истинно интрузивных пород, лавовых потоков и покровов). Задачу свою мы видели в том, чтобы подчеркнуть колоссальную роль эксплозивного вулканизма островных дуг и родственных им структур в геологической истории Земли и чрезвычайное значение пирокластического материала в формировании земной коры, которые большинство исследователей в настоящее время не доценивают.

ЛИТЕРАТУРА

- Алекин О. А., Бражникова Л. В. Вынос реками растворенных веществ с материков и связь этого процесса с механической эрозией земной поверхности. В кн.: Химия земной коры, т. II. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Афанасьев Г. Д. О петрографической интерпретации геофизических данных о строении земной коры.— Изв. АН СССР, серия геол., 1960, №7.

- Баранов В. И. Радиоактивность и геология.— Вестник АН СССР, 1962, № 2.
- Барт Т. Теоретическая петрология. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1956.
- Башарина Л. А. Водные вытяжки пепла и газа пепловой тучи вулкана Безымянного.— Бюлл. Вулканол. станции АН СССР, 1958, № 27.
- Белинский В. А., Храмов С. П. Атмосфера.— БСЭ, 1960, т. 3.
- Бондарчук В. Г. Структура земной коры. Киев, 1962.
- Валяшко М. Г. Генезис рассолов осадочной оболочки. В кн.: «Химия земной коры», т. I. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Вильсон Д. Т. Земная кора. В сб.: «Планета Земля». М., Изд-во иностр. лит-ры, 1961.
- Виноградов А. П. О происхождении вещества земной коры.— Геохимия, 1961, № 1.
- Виноградов А. П. Зонная плавка как метод изучения некоторых радиальных процессов в Земле.— Геохимия, 1962а, № 3.
- Виноградов А. П. Происхождение оболочек Земли.— Изв. АН СССР, серия геол., 1962б, № 11.
- Герлинг Э. К., Шуколюков Ю. А., Кольцова Т. Е. и др. Определение возраста Земли по древнейшим минералам и породам.— В кн.: «Химия земной коры», т. I. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Гольдберг Э. Д. Геохимия моря. В кн.: «Геохимия литогенезиса». М., Изд-во иностр. лит-ры, 1963.
- Горшков Г. С. Извержение сопки Безымянной.— Бюлл. Вулканол. станции АН СССР, 1957, № 26.
- Гутенберг Б. Физика земных недр. М., Изд-во иностр. лит-ры, 1963.
- Дерпгольц В. Ф. Основной планетарный первоисточник природных вод Земли.— Изв. АН СССР, серия геол., 1962, № 11.
- Дерпгольц В. Ф. Принципы укрупненной естественной классификации природных вод Земли.— Сов. геология, 1963, № 5.
- Дикон Д. Р. Океаны. В сб.: «Планета Земля». М., Изд-во иностр. лит-ры, 1961.
- Зеленов К. К. Океаническая вода как продукт вулканизма.— Бюлл. Вулканол. станции АН СССР, 1963а, № 34.
- Зеленов К. К. Подводный вулканизм и его роль в формировании осадочных пород.— В сб.: «Вулканогенно-осадочные и терригенные формации». М., 1963б.
- Левин Б. Ю. Происхождение Земли и вопросы ее строения и состава.— Вестник АН СССР, 1962, № 2.
- Мархинин Е. К. Об энергии образования ювенильного вулканического пепла.— Докл. АН СССР, 1957, 116, вып. 5.
- Мархинин Е. К. О количестве ювенильной воды, участвующей в вулканических взрывах.— Докл. АН СССР, 1958, 119, вып. 3.
- Мархинин Е. К. Опыт оценки количества и давления газа в магме перед вулканическими взрывами.— Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы, отд. геол., 1962, № 2.
- Мархинин Е. К. Восхождение на Ключевской вулкан в период извержения (1961).— Бюлл. Вулканол. станции АН СССР, 1963, № 34.
- Мархинин Е. К., Пугач В. Б., Токарев П. И., Дубик Ю. М. Извержение вулкана Безымянного весной 1961 г.— Бюлл. Вулканол. станции АН СССР, 1963, № 34.
- Мархинин Е. К., Сапожникова А. М. О содержании Ni, Co, Cr, V и Si в вулканических породах Камчатки и Курильских островов.— Геохимия, 1962, № 4.
- Мархинин Е. К., Сирин А. Н., Тимербаева К. М., Токарев П. И. Опыт вулcano-географического районирования Камчатки и Курильских островов.— Бюлл. Вулканол. станции АН СССР, 1962, № 32.
- Пийп Б. И. О силе извержения вулкана Ксудач в 1907 г.— Бюлл. Вулканол. станции АН СССР, 1941, № 10.
- Резанов И. А. О строении земной коры платформенных областей.— Бюлл. Москв. об-ва испыт. природы, 1962, № 1.
- Ронов А. Б. К последокембрийской истории атмосферы и гидросферы.— Геохимия, 1959, № 5.
- Селиванов Л. С. О происхождении хлора и брома в соляной массе океана.— Бюлл. Вулканол. станции АН СССР, 1947, № 11.
- Хитаров Н. И. О соотношениях между водой и магматическим расплавом.— Геохимия. 1960. № 7.
- Хитаров Н. И. Вопросы эндогенных процессов в свете экспериментальных данных. М., 1961.
- Dickinson W. R. Petrogenetic significance of geosynclinal andesitic volcanism along the Pacific margin of North America.— Bull. Geol. Soc. America, 1962, 73, № 10.
- Jvasaki J. and oth. Volcanic gases in Japan.— Bull. Tokio Inst. Technol., 1962, № 47.
- Markhinin E. K. On the possibility of estimating the amount of juvenile water participating in volcanic explosions.— Bull. Volcanol., Napoli, 1962.
- Urey H. C. The planets, their origin and development.— Volc. Univ. Press. New Haven, Conn., 1952
- Williams H. Calderas and their origin.— Bull. Dept. Geol. Sci., 1941, 25, № 6.