

Л. А. БАШАРИНА

ВЛИЯНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ
НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ АТМОСФЕРНЫХ ОСАДКОВ
И ВОЗДУХ КАМЧАТКИ

Вулканическая деятельность является непрерывным источником обогащения атмосферы и гидросферы продуктами извержения. Газы, твердые эксгалации и пеплы в зависимости от силы извержения могут переноситься на огромные расстояния.

В момент гигантского взрыва вулкана Безымянного 30 марта 1956 г. эруптивная струя раскаленного пепла вырвалась на высоту 35—40 км. Скорость продвижения пепла и газа достигала более 100 км/час. Через несколько часов после извержения пепел был обнаружен наблюдательными станциями в Англии (Горшков, 1957). В пос. Ключи, в 45 км от центра извержения во время пеплопада в воздухе содержались заметные количества вулканических газов: углекислого газа до 2,2 мг/л (0,114%), сернистого газа 0,295 мг/л (0,01%) и хлористого водорода 0,106 мг/л (0,006%) (Башарина, 1958). В период умеренной деятельности вулканов Ключевской группы в 1959 г. в районе пос. Ключи в воздухе содержалось (среднее из 59 определений): хлора 203 мкг/м³, брома 8,2, йода 0,76 и серы 58 мкг/м³ (табл. 1). В радиусе 12-15 км от вулканов даже в межпароксизмальный период их активности отмечается значительное загрязнение атмосферы фумарольными газами. Так, в районе Ключевской группы в воздухе (среднее из 16 определений) обнаружено: хлора 1061 мкг/м³, брома 22,9, йода 2,5 и серы 886 мкг/м³ (табл. 1). Эти количества галоидов и серы намного превышают содержания их в атмосфере континентальных областей.

Фактический материал по содержанию галоидов в воздухе довольно ограничен, а что касается вулканических районов, то его вообще нет. Согласно данным Л. С. Селиванова (1946), основанным на исследовании 314 образцов, в воздухе г. Москвы в среднем содержалось хлора 65 мкг/л, брома 2,3 мкг/л и йода 0,14 мкг/л. В приморских районах (среднее из 23 определений) найдено хлора 500 мкг/л, брома 30 мкг/л и йода 2 мкг/л. В воздухе вулканических и континентальных районов отмечаются низкие отношения Cl/Bг (44-46). В атмосфере приморских районов это отношение значительно выше и почти соответствует отношению Cl/Bг в морской воде (Красинцев, 1968).

Наряду с газообразными продуктами вулканы выбрасывают огромные массы твердых веществ (пеплов, лав, возгонов). В процессе извержения Безымянного 1955—1956 гг. было выброшено около 3 км³ твердых вулканических продуктов. В свежей пирокластике этого извержения суммарный объем растворимых солей достигал 20 млн. т. (Товарова, 1958). Тем самым вулканическая деятельность накладывает особый отпечаток и на почвы полуострова. Все виды почв содержат примесь изверженного

Т а б л и ц а 1

Содержание Cl, Br, I и S в воздухе в районе северных вулканов Камчатки (вмкг/м³)

Дата	Место взятия пробы	Cl	Br	I	S	$\frac{Cl}{Br}$	$\frac{Br}{I}$	$\frac{S}{Cl}$
31.7.1956	Шивелуч, Кратерная вершина	2000	40	4,5	2090	50	9	1,09
1.8.1956	То же	2500	40	4,0	2746	63	10	0,93
2.8.1956	»	1900	32	2,1	2100	55,5	16	1,10
5.7.1957	»	1800	34	2,0	2018	53	17	1,12
4.7.1959	»	1350	32	8,0	1600	42	4	1,18
20.8.1956	Шивелуч, в 12 км от кратера	220	9	0,8	240	25	11	1,09
5.7.1957	Шивелуч, в 4 км от кратера	300	8	0,5	330	38	16	1,10
9.9.1956	Безымянный, агломератовый поток	430	15	3,0	460	29	5	1,07
9.5.1957	То же	302	12,6	2,0	400	24	6	1,09
29.7.1959	»	400	4	1,0	260	100	4	1,03
21.6.1959	Безымянный, в кратере	1300	25	2,2	1310	52	12	1,01
9.9.1956	Ключевской, кратер Заварицкого	860	18	1,2	125	48	15	0,14
14.5.1957	Кратер Былинкиной	1350	32	2,2	146	37	14	0,11
14.5.1959	То же	1150	25	2,5	110	42	10	0,100
14.5.1959	Кратер Былинкиной, лавовый поток	770	22,5	1,2	100	32	18	0,13
9.5.1959	Кратер Билукай	400	14	1,0	55	29	14	0,13

материала, богатого растворимыми веществами, и поэтому также являются важным источником обогащения атмосферы минеральными веществами (растворимыми аэрозолями).

Атмосферные осадки Камчатки формируются под воздействием вулканов, находящихся на разных стадиях активности. В начальной высокотемпературной стадии (300—800°) в атмосферу выделяется многокомпонентная газовая смесь: водяной пар, углекислый газ, все галоиды, серный и сернистый газы, сероводород и аммиак, а также многие микрокомпоненты, такие, как мышьяк, бор и труднолетучие (металлы). В низкотемпературной стадии (90—100°) в составе газа содержится до 90—95% (объемных) углекислого газа, остальные 10-5 % составляют в основном соединения серы и галоиды.

Общее количество газов, выделяющихся из глубинных магматических очагов в межпароксизмальный период вулканической деятельности, по подсчетам многих исследователей достигает значительных величин. Наблюдения над отдельными действующими вулканами Камчатки и других вулканических областей позволили произвести подсчет количества газообразных масс, выбрасываемых в атмосферу. Так, по оценке С. И. Набоко (1947), побочный кратер Билукай в 1938 г. в течение двух часов выделил более 100 т соединений хлора. В момент усиления фумарольной деятельности вершинного кратера Ключевского вулкана в 1948 г. за час выделилось $5,58 \cdot 10^3$ м³ пара. Во время извержения 1945 г. этого же вулкана, по данным Б.И. Пийпа (1956), в течение 10 час. было выброшено газа, в пересчете на объем жидкой воды, около 27 млн. м³. Водные вытяжки из пеплом 1956-1956 гг. вулкана Безымянного содер-

жали хлора $10,5 \cdot 10^4$ т, сульфатов $19,6 \cdot 10^5$ аммония $44,8 \cdot 10^4$, натрия $29,2 \cdot 10^4$ калия $8,8 \cdot 10^4$ т (Товарова, 1958).

Значительная часть вулканических продуктов возвращается на поверхность земли с атмосферными осадками. За последнее десятилетие нами собран большой фактический материал по атмосферным осадкам в различных пунктах полуострова, которые отличаются по своим природным условиям (рисунок).

На различных стадиях вулканической деятельности выделяются огромные массы кислых газов, которые в атмосфере интенсивно реагируют с парами воды, образуя активные ядра конденсации. Процесс конденсации сопровождается химическими реакциями с образованием кислот — серной, соляной и других, которые и создают низкое значение рН в атмосферных водах.

Пробы дождевых и снеговых вод изучались из свежевыпавших осадков. Всего было отобрано свыше 200 проб атмосферных осадков. Для изучения влияния вулканической деятельности на химизм атмосферных осадков были выбраны вулканы Шивелуч, Безымянный и Ключевской, как наиболее активные. За период исследования (IX—1956—1959 г. и 1962—1969 гг.) здесь отобрано свыше 50 проб дождевых и снеговых вод при различной активности вулканов. В среднем (из 23 определений) найдено: фтора $0,5$ мг/л, хлора $24,8$, брома $0,034$ и йода $0,0036$ мг/л (табл. 2). В составе атмосферных осадков вулканических районов общим является повышенное содержание всех галоидов, сульфатов и низкое значение рН — от $2,5$ до $5,5$. В таких атмосферных водах гидрокарбонатные ионы отсутствуют или содержатся в количестве не более чем 10 — 20% экв. Концентрация водородных ионов достигнет 50% экв.

Атмосферные осадки, собранные в кратере вулкана Шивелуч (1956—1957 гг.) и его склонах, имели самую высокую минерализацию, в пределах 150 — 350 мг/л, и низкое значение рН ($2,3$ — $3,0$). По мере удаления от кратера этого вулкана минерализация осадков постепенно уменьшилась до 40 мг/л. Средняя минерализация (из 50 определений) для Шивелуча составила 87 мг/л. В атмосферных осадках отношения Cl/ SO_4 и $Cl/ Na + K$ примерно соответствуют таковым в конденсатах вулканических газов и водных вытяжек пепла. Конденсаты газа исследованных вулканов обладали значением рН от $0,6$ до 2 , а концентрация попов хлора и сульфатов достигала более 20 г/л.

Таким образом, осадки, выпавшие в районах активных вулканов, формируются при участии вулканических эффузий и отражают их состав; осадки с высокой минерализацией (150 — 350 мг/л) имеют локальное распространение и фиксируются в пределах кратером действующих вулканов.

Во время пароксизма, когда происходит бурная вулканическая деятельность с выбросом газопепловых туч, продвигающихся



Рис. 1. Пункты отбора проб (обозначены точками)
1 — вулкан Шивелуч, 2 — пос. Ключи, 3 — вулкан Ключевской, 4 — вулкан Безымянный, 5 — пос. Усть-Камчатск, 6 — пос. Козыревск, 7 — кальдера Узон, 8 — Долина Геизеров, 9 — пос. Жупановский, 10 — г. Петропавловск-Камчатский

Таблица 2
Содержание галогенов в водах атмосферных осадков в районе северных вулканов Камчатки (в мг/л)

Дата	Местность и характер осадка	Фтор	Хлор	Бром	Йод	Хлор Фтор	Хлор Бром	Бром Йод
Вулкан Шивелуч								
30.7.56	В 12 км от кратера, дождь	0,035	12,7	0,020	0,0025	150	455	11
31.7.56	То же, дождь ливневый	0,040	8,1	0,018	0,0018	200	450	10
»	В 4 км от кратера, снег	0,198	22,0	0,032	0,0027	110	687	12
1.8.56	То же, снег с градом	0,240	17,0	0,030	0,0029	71	565	12
1.8.56	Кратерная вершина, снег	0,940	58,5	0,036	0,0030	62	610	12
2.8.56	То же	1,260	40,0	0,016	0,0065	32	810	9
2.8.56	Купол Суелич, снег	0,840	40,0	0,048	0,0027	55	835	14
20.8.56	В 12 км от кратера, дождь	0,161	17,0	0,025	0,0023	110	680	10
	Купол Суелич, снег	0,665	39,4	0,049	0,0038	59	801	13
9.4.57	В 4 км от кратера, снег	0,200	21,0	0,028	0,0022	105	750	13
10.4.57	Купол Суелич, снег	0,886	41,0	0,059	0,0056	57	625	10
Вулкан Безымянный								
9.9.56	Агломератовый поток, снег	0,145	22,6	0,036	0,0024	156	750	15
10.9.56	То же	0,081	14,5	0,025	0,0021	178	580	12
8.5.57	»	0,250	18,4	0,024	0,0018	74	771	13
9.5.57	»	0,180	14,2	0,020	0,0022	79	710	12
23.7.57	То же, дождь	0,094	12,4	0,038	0,0036	132	322	10
28.4.57	В кратере, снег	0,624	28,6	0,032	0,0030	45	857	12
Вулкан Ключевской								
1.9.56	Кратер Туйла, снег	0,081	12,2	0,018	0,0022	151	675	8
6.9.56	Кратер Апахончич, снег	0,180	12,1	0,016	0,0023	68	753	7
9.9.56	Кратер Заварицкого, снег	0,160	15,2	0,023	0,0018	26	665	13
9.	Кратер Билюкай, снег	0,030	17,2	0,020	0,0019	216	830	14
14.5.57	Кратер Былинкиной, снег	1,440	41,8	0,014	0,0063	290	937	7
26.4.59	То же	1,246	36,2	0,050	0,0041	290	725	14

с большой скоростью (100—120 км/час), влияние вулканизма может сказываться на химический состав атмосферных вод обширных территорий. Атмосферные осадки, выпадавшие в 30—45 км от активных вулканов, имели общую минерализацию в широких пределах — от 15 до 150 мг/л со значением рН=4,5—6,8. Следует отметить, что максимальная минерализация осадков отмечалась обычно после пеплопадов и при ветрах более 20 м/сек. В атмосферных водах пос. Ключи кроме основных компонентов определялись фтор, бром и йод (табл. 3). В среднем (из 41 определения) в них содержалось 0,02 мг/л брома и 0,0017 мг/л йода, а по 26 определениям — 0,05 мг/л фтора.

Для оценки влияния гидротерм на химизм атмосферных вод мы провели исследования осадков, снежников и талых вод (водотоки, озера, болота) в районе кальдеры Узона и Долины Гейзеров, где гидротермальные проявления наблюдаются в огромных масштабах и происходит разгрузка кипящих вод и пара, а также интенсивная фумарольная деятельность. Многие источники непрерывно парят и выделяют в атмосферу углекислый газ, сероводород, аммиак, метан; с парогазовыми струями

Таблица 3

Содержание F, Cl, Br и J в водах атмосферных осадков,
в пос. Ключи Камчатской области

Дата	Характер осадка, сила ветра, м/сек	Фтор	Хлор	Бром	Йод	Хлор Бром	Бром Йод
		мг/л		мкг/л			
13.9.1955	Дождь. Сильный ливень	—	4,85	9,5	0,8	746	12
25.9.1955	Дождь. Ветер СВ—3	—	4,99	10,8	1,26	460	9
4.11.1955	Дождь, после пеплопада. Ветер слабый	0,15	12,65	26,0	1,80	495	14
2.1.1956	Снег, после сильного пеплопада	0,25	42,30	85,0	5,8	500	14
15.1.1956	Снег. Слабый снегопад, после пеплопада	0,10	34,50	66,0	4,4	507	15
3.2.1956	Снег. Ветер восточный (с моря)	0,06	8,90	16,6	1,6	550	10
17.2.1956	Снег. Ветер В—6	0,04	6,60	9,9	1,2	670	10
13.3.1956	Снег. Ветер слабый	0,05	5,75	14,0	1,5	411	9
18.5.1956	Дождь. Ветер сильный	0,08	12,46	25,0	1,9	492	13
30.6.1956	Дождь. Сильный ветер восточный	0,09	7,36	22,8	2,2	323	10
25.7.1956	Дождь небольшой. Ветер В—3	0,04	5,47	10,4	1,1	526	9
1.9.1956	Дождь. Ветер В—4	0,06	8,12	13,6	1,3	597	10
7.10.1956	Дождь небольшой. Ветер В—5	—	4,40	9,2	1,0	480	9
11.11.1956	Дождь небольшой, морозящий	0,04	7,45	16,4	1,6	545	10
24.11.1956	Снег. Ветер СВ—4	0,08	6,40	9,6	1,1	530	9
6.12.1956	Снег после пеплопада	0,16	12,80	26,0	2,6	502	10
20.1.1957	Снег. Ветер СВ—6	—	6,84	13,2	1,2	525	11
2.2.1957	Снег с пеллом	0,25	25,00	48,0	4,8	520	10
3.2.1957	Снег после пеплопада	0,10	19,60	41,0	2,7	480	15
23.2.1957	Снег. Ветер В—15	0,08	4,85	13,4	1,1	510	13
23.3.1957	Снег. Ветер СВ—4	0,06	3,21	4,0	0,4	804	10
2.4.1957	Снег сильный, без ветра	—	3,54	7,2	0,7	492	10
2.5.1957	Снег небольшой, ветер В—5	—	5,65	9,1	1,0	620	9
21.5.1957	Дождь небольшой	—	5,68	8,4	0,9	672	9
7.6.1957 ₂	Дождь. Ветер слабый	0,04	7,24	12,0	1,9	600	10
10.8.1957	Дождь. Ветер В—2	0,05	8,40	13,0	1,5	645	9
28.10.1958	Дождь	—	3,86	8,9	1,0	430	9
28.12.1958	Снег после пеплопада	0,11	15,60	26,6	2,6	586	10
30.12.1958	Снег после пеплопада	0,15	18,00	36,0	3,9	505	9
6.1.1959	Снег. Сильный бурян и ветер	0,06	12,00	19,5	2,0	620	9
20.2.1959	Снег, метель	—	5,80	8,4	0,9	691	9
5.3.1959	Снег, метель. Ветер З—3	—	4,22	7,2	0,8	561	9
10.3.1959	Снег после пеплопада	0,09	16,00	28,0	2,3	600	12
15.4.1959	Снег (от 12, 13, 14 апр.). Ветер сильный ЗСЗ—до 18	—	8,12	15,0	1,5	530	10
4.5.1959	Дождь ливневый. Ветер	—	3,60	6,2	0,6	580	10
15.5.1959	Дождь. Ветер В—4	—	4,62	7,4	0,7	626	10
9.6.1959	Дождь. Ветер В—8	—	7,06	11,5	1,0	612	11
15.6.1959	Дождь небольшой. Ветер ВСВ—7	0,05	5,14	9,6	1,1	536	9
20.7.1959	Дождь ливневый. Ветер ЗСЗ—7	0,03	4,10	6,8	0,8	602	11
10.8.1959	Дождь небольшой. Ветер	—	4,96	12,0	1,2	415	10
15.9.1959	Дождь ливневый. Ветер слабый	0,03	3,84	6,5	0,7	593	9

выносятся десятки тысяч тонн различных минеральных компонентов. Атмосферные осадки в районе гидротерм кальдеры Узона по составу и общей минерализации близки к поверхностным водам (снежники, талые ручьи). Минерализация их в период исследования 1967 г. варьировала в пределах от 21 до 66 мг/л, количественные отношения в среднем (из 22 определений) составили для $Cl/Na + K = 0,6-0,8$ для $SO_4/Cl = 2,5$. Эти отношения ниже, чем в атмосферных водах на активных вулканах, но отличаются от таковых в осадках побережья. В районе гидротерм на химический состав атмосферных осадков оказывает влияние привнос из термальных вод газопаровыми струями растворимых компонентов. Здесь источником иона хлора являются мельчайшие частицы хлористого натрия, которые и служат ядрами конденсации. Содержание хлора, более или менее постоянное, в среднем составляет около 5 мг/л как в атмосферных, так и в поверхностных водах. Содержание сульфата, концентрация которого определяется степенью загрязнения атмосферы газами серы, колеблется более значительно, чем содержание хлора.

Камчатка является звеном островной вулканической дуги, и химический состав воздуха и атмосферных осадков здесь определяется не только влиянием активных вулканов, но и влиянием акватории океана. Изучение осадков на различных расстояниях от берега показало, что в 0,5 км от берега океана они содержат в среднем 15 мг/л хлора, в 1 км — 11 мг/л, в 2 км — 8,5 мг/л и на расстоянии 3 км — 7 мг/л. Отношение ионов сульфата к хлору в этих осадках колеблется от 0,35 до 0,60 (для морской воды эта величина равна 0,14). При удалении от берега это отношение заметно увеличивается. Более или менее постоянным остается отношение хлора к натрию; оно находится в пределах 1,5—2 (для морской воды 1,8).

Большой интерес представляет анализ величин отношения хлора к бромю для воздуха и атмосферных осадков в различных районах, которые позволяют делать некоторые предположения относительно генезиса галоидов. Так, отношение хлора к бромю в атмосферных осадках пос. Ключи в среднем составляет 550, а в ближайших окрестностях вулкана — 620. Эти величины значительно выше среднего морского и континентального, равного 300. Данное сопоставление говорит в пользу дополнительного привноса галоидов вулканического происхождения.

Полученные аналитические данные свидетельствуют о том, что, несмотря на значительные колебания как в содержании отдельных компонентов, так и в общей минерализации, состав осадков Камчатки четко указывает на более или менее значительное влияние вулканов.

В табл. 4 представлен средний состав химических анализов атмосферных осадков, выпавших в различных районах Камчатки. Эти данные показывают, насколько различен химический состав атмосферных осадков в разных пунктах полуострова. Содержание отдельных компонентов колеблется в значительных пределах. Например, в осадках, выпавших в окрестностях вулкана Шивелуч, в среднем (из 14 определений) 32,5 мг/л хлора, а в районе побочных кратеров Ключевского вулкана (в среднем из 23 проб) только 16,8 мг/л. В пос. Ключи в снеговой и дождевой воде после пеплопадов содержалось хлора 12 мг/л (среднее из 16 определений), а в периоды умеренной деятельности вулканов — около 5 мг/л (среднее из 80 определений).

Пользуясь имеющимся фактическим материалом, мы подсчитали количество хлоридов и сульфатов, привносимых атмосферными осадками в отдельные районы Камчатки (табл. 4). В основу расчетов был положен средний химический состав и среднее годовое количество (в $т/км^2$) атмосферных осадков, выпадающих на Камчатке. Эти количества осадков

Таблица 4

Средний химический состав атмосферных осадков, выпадающих на территории полуострова Камчатка

Компонент	Северные вулканы		Пос. Ключи после пеплопадов		Пос. Ключи		Петропавловск		Гидротермальные районы				Побережья океана	
	мг/л	т/км ²	мг/л	т/км ²	мг/л	т/км ²	мг/л	т/км ²	Кальдера Узона		Долина Гейзеров		мг/л	т/км ²
									мг/л	т/км ²	мг/л	т/км ²		
Аммоний	2,0	3,20	1,81	1,55	0,80	0,69	0,74	1,19	0,2	0,20	0,15	0,15	0,2	0,24
Калий	1,8	2,88	1,52	1,30	0,74	0,63	0,74	1,19	1,2	2,20	1,20	1,20	0,74	0,89
Натрий	6,9	11,04	4,41	3,78	2,30	1,97	2,18	3,52	5,6	5,60	5,40	7,40	4,20	5,05
Кальций	8,8	14,08	7,66	6,58	4,30	3,68	2,28	3,68	2,45	2,45	2,04	2,04	1,38	1,65
Магний	2,3	3,68	1,86	1,60	1,10	0,95	0,82	1,34	0,50	0,50	0,40	0,40	1,65	1,98
Фториды	0,43	0,48	0,10	0,03	0,05	0,43	н/оп	—	0,10	0,10	0,09	0,09	н/оп	—
Хлориды	24,8	40,0	11,60	10,5	5,1	4,38	3,06	4,95	5,30	5,30	3,97	3,97	7,75	9,32
Сульфаты	36,0	57,0	16,6	14,3	6,4	5,50	4,15	6,70	10,45	10,45	10,50	10,50	4,23	5,07
Гидрокарбонаты	2,6	4,16	17,3	14,8	14,3	12,30	10,8	17,40	7,80	7,80	9,93	9,93	7,42	9,30
Кремнекислота	2,2	3,52	1,9	1,63	1,6	1,37	0,6	0,97	2,70	2,70	2,2	2,20	0,80	0,96
Минерализация	86,9	140,64	64,76	55,62	36,64	31,46	24,65	40,94	36,30	37,30	35,88	37,88	28,67	34,46
pH	4,0		4,5		5,6		6,2		5,8		6,00		6,5	
SO ₄ /Cl	1,45		1,43		1,25		1,35		1,98		2,60		0,54	
Cl/Na+K	2,82		1,96		1,70		1,05		0,80		0,60		1,60	

показывают, что только во время активной деятельности вулканов принос растворимых веществ значительно увеличивается.

В вулканических областях следует отмечать «временное» загрязнение атмосферы, связанное с сильными извержениями, сопровождающимися пеплопадами, и «постоянное» — межпароксизмальное, когда атмосфера достигает определенного равновесия и концентрация отдельных компонентов более или менее постоянна для данной географической зоны. Таким образом, влияние вулканических извержений на атмосферу узколокальное и кратковременное.

После сильных извержений временно нарушается равновесие в атмосфере, создаются микрорайоны максимального загрязнения ее.

Состав атмосферных осадков зонален и не может распространяться на всю территорию Камчатки на основании средних величин, полученных для отдельных районов.

ЛИТЕРАТУРА

- Башарина Л. А.* Водные вытяжки пепла и газы пепловой тучи вулкана Безымянного.— Бюлл. вулканол. станции, 1958, № 27.
- Башарина Л. А.* Эксгаляции побочных кратеров Ключевского вулкана на различных стадиях остывания лавы.— В сб.: Вулканизм Камчатки и некоторых других районов СССР. М., Изд-во АН СССР, 1963.
- Горшков Г. С.* Каталог действующих вулканов Курильских островов.— Бюлл. вулканол. станции, 1957, № 25.
- Красинцева В. В.* Гидро-геохимия хлора и бора. М., «Наука», 1968.
- Набоко С. И.* Извержение Билуюкая, побочного кратера Ключевского вулкана, в 1938 г.— Труды Лабор. вулканол. и Камчатской вулканол. станции, 1947, вып. 5.
- Пийп Б. И.* Ключевская сопка и ее извержения в 1944—1945 гг. и в прошлом.— Труды Лабор. вулканол., 1966, вып. 11.
- Пискунов Л. И.* О фоновых и аномальных соотношениях хлоридов и сульфатов в атмосферных осадках.— Докл. АН СССР, 1970, т. 193, № 6.
- Селиванов Л. С.* Геохимия и биогеохимия рассеянного бора.— Труды биогеохим. лабор., 1946, т. 8.
- Товарова И. И.* О выносе воднорастворимых веществ из пирокластики вулкана Безымянного.— Геохимия, 1956, № 7.