

УДК 502.58:551.21

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ АКТИВНЫХ ВУЛКАНОВ

Малик Н.А., Кузьмина А.А.

Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006; e-mail: malik@kscnet.ru

Аннотация

На примере изучения извержений вулканов Северной группы (Камчатка) Безымянного и Шивелуча зимой 2006/07 гг. показано, что влияние эксплозивной вулканической активности на химию снега выражается в форме повышенных содержаний основных макрокомпонентов (в том числе токсичных ионов хлора, фтора, сульфата) в присутствии тефры. Всего на площади, охваченной пеплопадами (31 тыс. км²), за 3.5 месяца – с декабря 2006 г. по середину марта 2007 г. – было вынесено около 10 млн т пепла вулканов Безымянный и Шивелуч, а с ними – более 40 тыс. т водорастворимых веществ. В среднем на территории пеплопадов минерализация снега на 1 м² (при плотности 300 кг/м³) повышена в 3–4 раза по сравнению с фоновыми осадками; вблизи вулканов – на порядок и более.

Влияние фумарольной деятельности на состав химических примесей в снежном покрове, исследованное на примере вулканов Эбеко и Авачинский, проявляется локально и выражается в форме пониженных значений рН, повышенных содержаний ионов хлора, в меньшей степени сульфата.

Введение

Вулканы поставляют в атмосферу большое количество кислых газов и пепла [14], которые возвращаются на земную поверхность путём влажного и/или сухого осаждения и относятся к главным компонентам вулканического загрязнения окружающей среды. Зимой эти активные вещества накапливаются в снежном покрове, что позволяет оценить их качественный и количественный состав. Ежегодно на Камчатке происходят извержения трех–пяти вулканов, значительно большее число вулканов проявляет интенсивную фумарольную деятельность.

Зимой 2006/07 гг. произошли извержения андезитовых вулканов Безымянный и Шивелуч, входящих в Северную группу вулканов. Одной из задач настоящего исследования была количественная оценка петрогенных и растворимых продуктов извержений, поступивших в окружающую среду.

Вторая задача состояла в изучении вклада фумарольной деятельности в формирование химического состава сезонного снега на примере вулканов Авачинский и Эбеко (о. Парамушир), расположенных вблизи городов Петропавловск-Камчатский и Северо-Курильск.

Методика исследования

В феврале и середине марта 2007 г. на территории, подверженной пеплопадам, была проведена гляциогеохимическая съемка для оценки объемов изверженного материала, а также исследования концентрации и состава растворимых и нерастворимых примесей, накопленных в сезонном снежном покрове 2006/07 гг. после извержений вулканов (влк.) Безымянный и Шивелуч. Основные методические приемы подобной съемки разработаны для количественной оценки геологического эффекта извержений вулканов [7, 10]. Первые исследования водных вытяжек из пеплов извержения для определения растворимой части

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ АКТИВНЫХ ВУЛКАНОВ

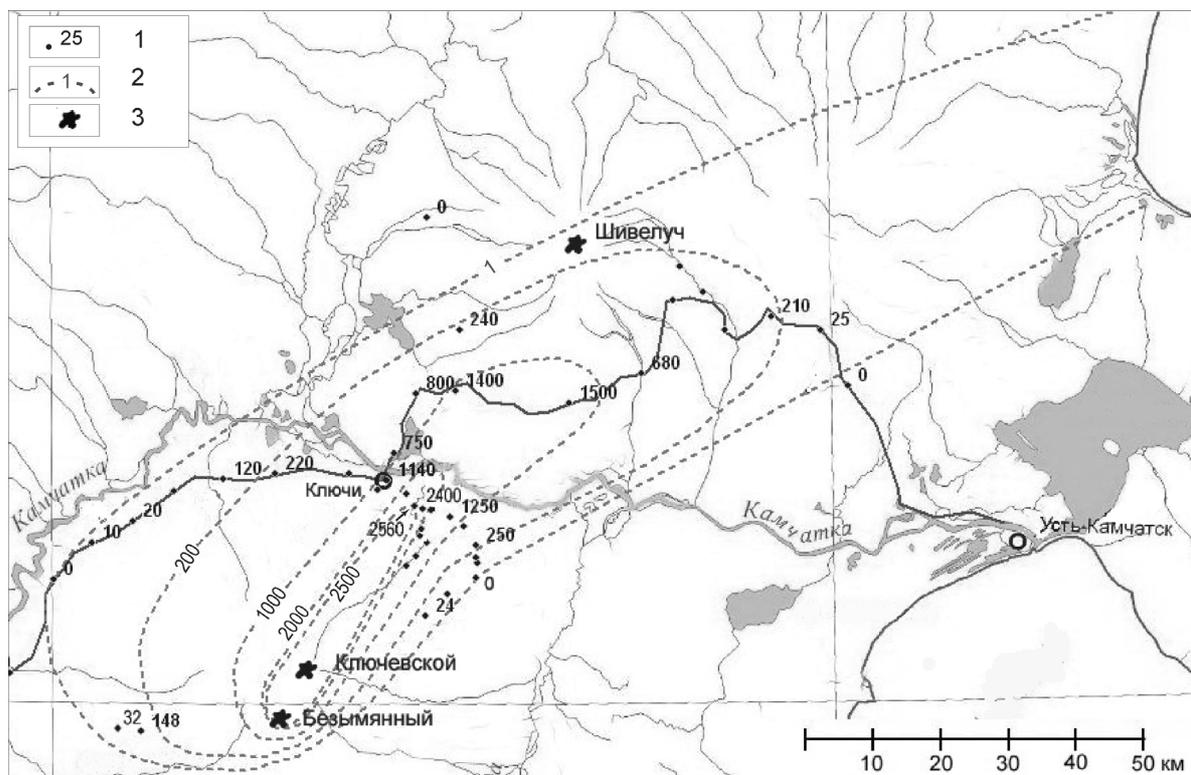


Рис. 1. Схема распределения отложений пепла извержения вулкана Безымянный 24 декабря 2006 г.: 1 – точки отбора проб, масса пепла на единицу площади, г/м²; 2 – изолинии массы пепла на единицу площади, г/м²; 3 – активные вулканы.

пепла, в которую входят адсорбированные газы извержения, а также катионы, вытесненные из пород, выполнены Л.А. Башариной [2].

Зима 2007 г. была аномально холодной, высота сезонного снежного покрова на склонах и у подножия вулканов Северной группы изменялась от 50 до 140 см. Пепловые слои в разрезе снега сохранялись до начала работ практически в неизменном виде. В пределах

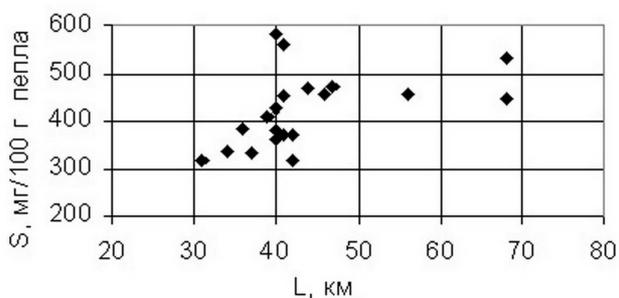


Рис. 2. Изменение количества водорастворимых компонентов пеплов S с удалением от вулкана Безымянный L

площади отбора изучено 60 разрезов снежного покрова. В шурфах повсеместно отмечались один горизонт пепла влк. Безымянный и 1–5 горизонтов с пеплом влк. Шивелуч различной насыщенности. Кроме того, в нескольких точках отбирались пробы чистого снега для оценки фонового содержания химических примесей.

Пробы снега с пеплом, растаявшие при комнатной температуре, фильтровались. Полученный фильтрат, после измерения его объема, сдавался на гидрохимический анализ. Пеплы высушивались, взве-

Таблица 1. Расположение и количественные характеристики проб пепла вулкана Безымянный*

Номер пробы	Расстояние от вулкана, км	Расстояние от оси пеплопада, км	Масса пепла на единицу площади, г/м ²	Количество водорастворимых веществ на 100 г пепла, мг
Б-11	31	4	1300	315
Б-06	40	1	2400	360
Б-22	59	3	1400	440
Б-05	42	6	1250	370
Б-03	42	12	250	440
Б-55	56	14	800	460

*Пробы (кроме Б-55) отобраны в период с 26.01.2007 г. по 02.02.2007 г., проба Б-55 – 16.03.2007 г.

Таблица 2. Состав водорастворимого комплекса пеплов вулкана Безымянный (мг/100 г пепла)

Водорастворимый комплекс	Номера проб						Среднее	Всего за извержение, т
	Б-11	Б-06	Б-22	Б-05	Б-03	Б-55		
F ⁻	6	5	11	11	10	16	10	700
Cl ⁻	45	62	78	58	75	74	65	4550
SO ₄ ²⁻	164	185	218	192	231	225	200	14000
Na ⁺	28	29	32	26	32	39	30	2100
K ⁺	7	6	8	5	12	12	8	560
Ca ²⁺	55	67	87	69	76	80	70	4900
Mg ²⁺	7	8	8	7	8	10	8	560
Сумма	312	362	442	368	444	456	391	27370

*Химический анализ выполнен в аналитическом центре ИВиС ДВО РАН млад. науч. сотр. А.А. Кузьминой, вед. инж. Л.Н. Гарцевой и старш. науч. сотр. С.В. Сергеевой.

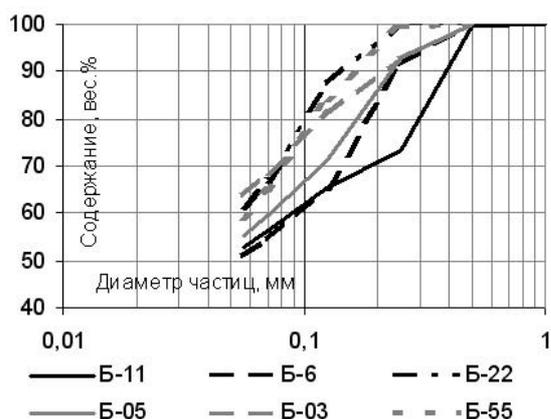


Рис. 3. Кумулятивные кривые гранулометрического состава пеплов вулкана Безымянный (характеристику образцов пеплов см. в табл. 1)

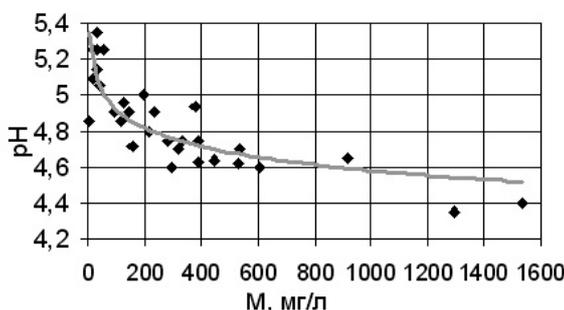


Рис. 4. Взаимосвязь pH и минерализации М вытяжек из пепла вулкана Безымянный

шивались, а их масса пересчитывалась на площадь отбора пробы. В дальнейшем пробы пепла подвергались гранулометрическому, химическому и минералогическому анализу. Результаты химического анализа снеговых вытяжек пересчитывались на 100 г пепла (через объем талого снега и массу пепла в пробе).

Влияние фумарольной активности на химический состав снежного покрова изучался на примере вулканов Авачинский (Камчатка) и Эбеко (о. Парамушир) по радиальным профилям от кратера до их подножия. Весной 2007, 2008 гг. из шурфов, расположенных с определенным интервалом на профиле, отбирались пробы на гидрохимический анализ, включающие весь разрез сезонных снеговых отложений.

Извержение вулкана Безымянный 24 декабря 2006 г.

По данным Камчатского филиала Геофизической службы РАН, пароксизмальная фаза эксплозивного извержения произошла 24 декабря с 21:17 до 22:10 местного времени. По визуальным данным из пос. Козыревск, наблюдалась пепловая колонна в форме гриба высотой предположительно до 13 км над уровнем моря (н.у.м.). По информации сотрудников Камчатской вулканологической станции им. Ф.Ю. Левинсона-Лессинга, в ночь с 24 на 25 декабря в пос. Ключи выпало до 1 см пепла со снегом, во время и после пеплопада в воздухе ощущался резкий запах серы [5].

По спутниковым данным, пепловое облако размером 45 × 25 км перемещалось на высоте 9–10 км сначала на северо-восток от вулкана (азимут около 40°), постепенно меняя направление на восточное, и отмечалось на удалении до 850 км. Из-за преобладания на высотах 1–3 км ветров южных румбов нижняя часть пеплового облака и соответственно отложения пепла были смещены в северо-западном и северном направлениях (рис. 1).

Отложение пепла происходило на снег, что позволило во время полевых работ отобрать около 40 образцов пеплов из шурфов, расположенных на расстоянии 27–80 км от вулкана по оси и поперек движения пеплового облака. Описание шести из них дано в табл. 1. На основании изучения пепла, выпавшего в этих точках, а также распространения пеплового облака по спутниковым снимкам были построены изолинии массы тефры ($\text{г}/\text{м}^2$) (см. рис. 1). Их форма приближенно была принята эллиптической. Общая масса тефры, оцененная по формулам из статьи [13], составила около 7 млн т. Сходные оценки были получены по номограмме С.А. Федотова (5 млн т) и другим формулам из работы [12]. В результате этого извержения пеплопадом было охвачено более 8000 км^2 территории Камчатки, в окружающую среду поступило около 7 млн т пепла, а с ним – 30 тыс. т водорастворимых веществ, из которых: SO_{42-} – 14, Cl^- – 4.6, F^- – 0.7, Ca^{2+} – 4.9, Na^+ – 2.1, K^+ – 0.6, Mg^{2+} – 0.6 тыс. т (табл. 2).

Результаты химического анализа шести вытяжек из пепла, отобранного на разных расстояниях от вулкана в районе оси и краевых частях пеплопада, и среднее значение по 15 анализам в пересчете на 100 г пепла (в мг) представлены в табл. 1, 2.

Количество выносимых водорастворимых веществ зависит от гранулометрического состава пепла: более крупнозернистые пеплы, выпавшие на расстояниях 30–40 км от вулкана вблизи оси пеплопада, выносят меньше сорбированных веществ на единицу массы, чем более пылеватые, выпавшие дальше, в краевых частях пеплопада на расстояниях 40–70 км (табл. 1 и 2, рис. 2 и 3). Значительный разброс точек на диаграмме (см. рис. 2), не позволяющий точно аппроксимировать их одной функцией, обусловлен разной скоростью изменения свойств пеплов с удалением от вулкана по оси пеплопада и в стороны его пери-

ферийных зон. В пеплах влк. Безымянный на расстоянии 30–40 км от вулкана пылевая фракция (менее 0,056 мм) составляет около 50%, крупнозернистая (0.25–0.5 мм) – 5–25%. В пробах, отобранных в 31–34 км от вулкана, размер частиц достигает 1 мм. На расстоянии 40–70 км пылевая фракция составляет 60–80%, крупнозернистая (0.25–0.5 мм) – менее 1% (см. рис. 3).

В зависимости от минерализации значение рН проб снега с пеплом варьирует от 4.35 до 5.35, т.е. ниже фоновых, и в целом понижается с ростом минерализации (рис. 4). Данная зависимость с одинаковой точностью аппроксимируется логарифмической и степенной функциями.

Активизация вулкана Шивелуч зимой 2006/07 гг.

В отличие от эксплозивных извержений влк. Безымянный, которые имеют «мгновенный» характер и протекают чаще всего в неменяющейся метеорологической обстановке, распределение пеплопадов извержений влк. Шивелуч сложнее. После более чем годового периода покоя 4 декабря 2006 г. влк. Шивелуч возобновил свою активность, которая с разной степенью интенсивности продолжается до настоящего времени. Практически постоянно наблюдаются раскаленные лавины, с которыми связано формирование небольших пепловых шлейфов. Реже отмечаются эксплозии разной силы, пепел которых может достигать высоты 12 км и распространяться более чем на 400 км по разным направлениям от вулкана [4, 5]. Такой характер активности обусловил формирование двух групп шивелучских пеплов (рис. 5, табл. 3):

- группа I – крупнозернистые темные пеплы, образовавшиеся в результате сильных эксплозий; на расстоянии 25–50 км от вулкана преобладает фракция 0.125–0.5 мм, пылевая фракция составляет здесь менее 20 %;
- группа II – тонкие рыжие пеплы, сформировавшиеся в результате обрушения лавин на куполе вулкана, пылевая фракция преобладает (~70 %) даже на расстояниях 5–20 км.

Таблица 3. Расположение и количественные характеристики проб пепла вулкана Шивелуч*

Номер пробы	Расстояние от вулкана, км	Масса пепла на единицу площади, г/м ²	Количество водорастворимых веществ на 100 г пепла, мг	Положение пеплового горизонта в шурфе	Характеристика пепла
Ш-16/2	18	510	145	Нижний, начало активизации	Смешанный тип
Ш-4/3	24	640	230	Нижний	Темный крупно-зернистый
Ш-2	69	42	730		
Ш-33	17	81	450	Третий снизу из четырёх	Рыжий мелко-зернистый
Ш-4/2	24	180	360	Второй снизу из трёх	
Ш-7/1	33	35	710	Два верхних из пяти	

*Пробы отобраны в период 26.01.2007 г. – 02.02.2007 г.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ АКТИВНЫХ ВУЛКАНОВ

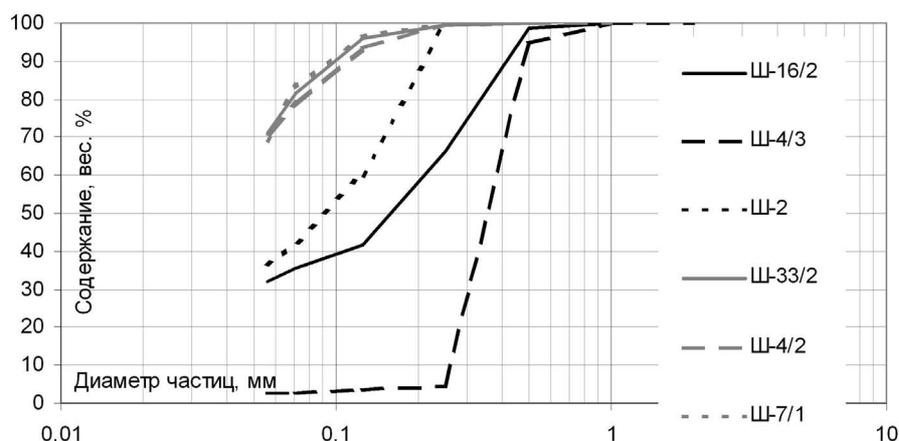


Рис. 5. Кумулятивные кривые гранулометрического состава пеплов вулкана Шивелуч (характеристику образцов пеплов см. в табл. 3).

Кроме этого, отдельно следует выделить пеплы, выброшенные в начале активизации, отложившиеся на север от вулкана. Они характеризуются низкой минерализацией вытяжек, отличным от 2-х вышеперечисленных типов гранулометрическим и химическим составом.

Ко времени второго этапа полевых работ, т.е. за первые 3,5 месяца извержения, пеплопадами была охвачена практически вся территория вокруг вулкана в радиусе более 100 км, т.е. более 31 000 км². На основании изучения 70 площадных проб пепла и распространения шлейфов по спутниковым снимкам территория вокруг вулкана была разделена на пять секторов (рис. 6), для которых были проведены средние изолинии массы тефры и подсчитана общая масса по формулам из работы [13]. За это время было вынесено около 2,5 млн т пепла. В окружающую среду поступило, т: SO₄₂₋ 6400, Cl⁻ 1600, F⁻ 140, Ca²⁺ 2300, Na²⁺ 670, K⁺ 290, Mg²⁺ 390, H₄SiO₄ (растворенной и коллоидной) 1400, всего 13 тыс. т водорастворимых веществ.

Таблица 4. Состав водорастворимого комплекса пеплов вулкана Шивелуч (мг/100 г пепла)*

Водорастворимый комплекс	Номера проб						Среднее	Всего за извержение, т
	Ш-16/2	Ш-4/3	Ш-2	Ш-33	Ш-4/2	Ш-7/1		
F ⁻	1,1	0,3	2,2	7,6	4,6	10,5	6	143
Cl ⁻	15	14,5	41	49	30	94	63	1580
SO ₄ ²⁻	76	126	462	256	184	400	254	6361
Na ⁺	8	11	63	30	9,5	38	27	667
K ⁺	2	2,7	15	4,4	2,5	10	12	289
Ca ²⁺	34	55	123	88	86	141	93	2316
Mg ²⁺	3	8	28	11	16	19	15	386
H ₄ SiO ₄ р+к	4+2	15+1	н/о		3+28	н/о	13+44	317+1100
Сумма	145	234	734	446	364	712,5	527	13180

*Пробы отобраны в период 26.01.2007 г. – 02.02.2007 г.

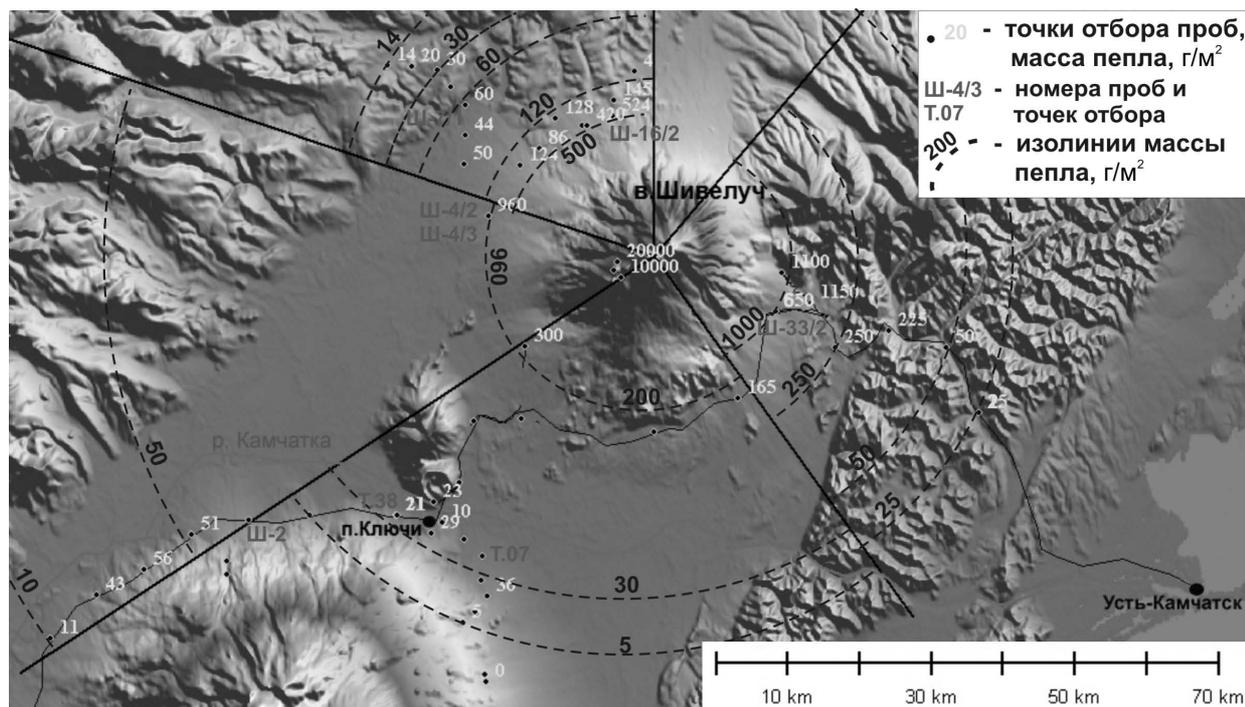


Рис. 6. Распределение отложений пепла вулкана Шивелуч зимой 2006/07 гг.

В табл. 3, 4 представлены результаты химического анализа вытяжек из пеплов разных типов, выпавших в разное время и на разном расстоянии от вулкана, и среднее значение по 33 результатам химических анализов в пересчете на 100 г пепла (в мг).

Для пеплов влк. Шивелуч ввиду многократных пеплопадов различного происхождения, произошедших в разной метеорологической обстановке, а также несистематичности отбора проб, не прослеживается явной зависимости между расстоянием от вулкана, гранулометрическим составом и количеством водорастворимых веществ в водной вытяжке, хотя она наблюдается для пеплов, относящихся к одному пеплопаду (табл. 3, 4 и рис. 5). Вероятно, для всех отобранных пеплов, выпавших за 3.5 месяца активности вулкана, количественный и качественный состав водорастворимого комплекса в значительной степени определяется изменяющимися в процессе длительного извержения газовой составляющей эруптивных шлейфов и генетическими свойствами пеплов.

Для значений рН водных вытяжек из шивелучских пеплов, варьирующих в пределах 4.75–6.4, не наблюдается четкой связи с минерализацией проб, что также объясняется указанными ранее причинами.

Фумарольная активность вулканов Авачинский и Эбеко

Вклад фумарольной деятельности Авачинского вулкана в формирование химического состава сезонного снега изучался по профилю в южном направлении от кратера до г. Петропавловк-Камчатский. Пробы отбирались с интервалом 5 км, а начиная с высоты 1000 м н.у.м. – 1 км. Во всех пробах, за исключением отобранных на кратере, концентрации макрокомпонентов не превышают фоновых, минерализация составляет 2–5 мг/л, значение рН от 5 (у города) до 5,6. В последних 2–х точках отбора перед кратером на высоте 2280 м и 2400 м н.у.м. можно отметить незначительное возрастание содержания хлора, сульфата,

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ АКТИВНЫХ ВУЛКАНОВ

кальция, понижение рН до 5.1–5.3. В пробах снега и льда, отобранных на кратере, значение рН понижается до 2.3–3.4, минерализация возрастает до 175–210 мг/л (в 15–40 раз) в основном за счет ионов хлора (110–198 мг/л), в несколько раз возрастает содержание сульфата (2.4 мг/л), кальция (4мг/л), магния (1.2мг/л). Т.о., зона влияния фумарольных полей Авачинского вулкана на химический состав снега в этом направлении не превышает 900 м, т.е. выше 2400 м н.у.м.

Исследование химического состава снега в районе вулкана Эбеко проводилось от его Северного кратера до океана через г. Северо-Курильск. Кроме проб сезонного снега производился отбор свежеснежного горизонта при северо-западном ветре – когда фумарольные газы спускались в район города. Данный вопрос уже затрагивался в статье [9]. Количественные оценки влияния фумарольной деятельности осложняются тем, что с одной стороны, в 8 км находится Тихий океан, а с другой, в 5.5 км – Охотское море. Как оказалось при исследовании снега на Авачинском вулкане, что также подтверждается литературными данными [14], при преобладании в газах соединений серы над хлороводородом, в атмосферных осадках доминирует хлорид-ион из-за его большей растворимости, что также характерно и для осадков побережий. Однако показатель рН для фоновых осадков побережий превышает 5–5.5, что показал анализ свежеснежного

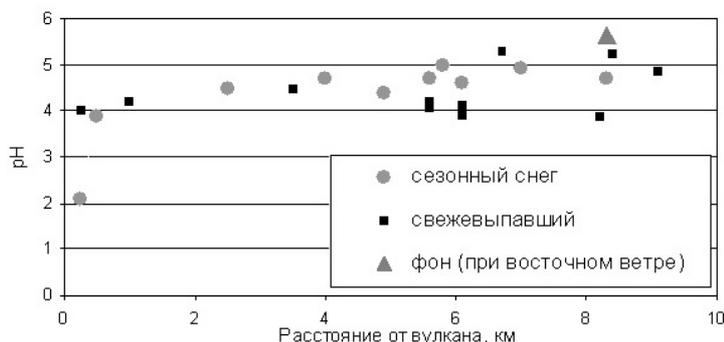


Рис. 7. Изменение показателя рН снега с расстоянием от вулкана Эбеко

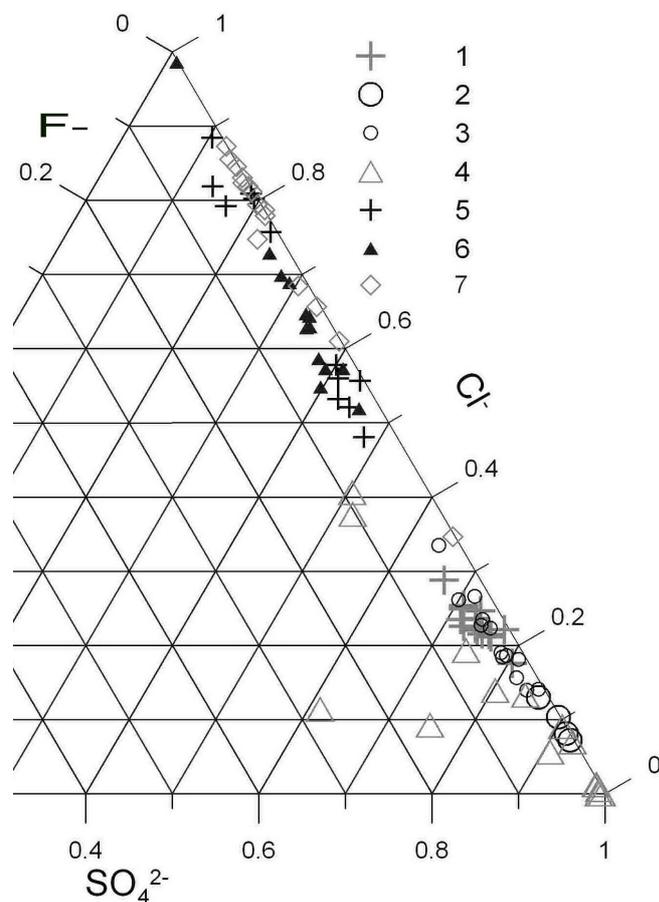


Рис. 8. Анионный состав снеговых вытяжек из пеплов вулканов Безымянный, Шивелуч, Авачинский и фоновых проб снега. Условные обозначения: 1, 2, 3, 4 – вытяжки из пеплов вулканов Безымянный, Шивелуч 1-го типа, Шивелуч 2-го типа, Авачинский 1991 г. [7], соответственно, 5, 6, 7 – пробы снега в районе Северной группы вулканов, влк. Авачинского и Эбеко, соответственно.

шего снега при восточном ветре, а также данные из статьи [1]. Поэтому по пониженным значениям рН снега (рис. 7) можно заключить, что для вулкана Эбеко сфера воздействия в восточном направлении распространяется до океана (на 8 км). Однако, на расстоянии 1 км от кратера и меньше в пробах наблюдается повышение отношения сульфат-иона к хлору, в пробе отобранной на краю Июльского поля оно равно 1.8 при минерализации 15 мг/л (Рис. 8).

Обсуждение результатов

Фоновые пробы снега (без видимой примеси пепла) в районе исследования пеплопадов соответствуют чистым атмосферным осадкам: они ультрапресные, преимущественно гидрокарбонатно-хлоридно-натриевого типа, их $\text{pH} = 5.3 \div 5.5$, среди анионов преобладает HCO_3^- (около 50 мг-экв %) и Cl^- (около 30 мг-экв %) (рис. 8), среди катионов доминирует натрий (50–90 мг-экв %). Всё это свидетельствует о влиянии океана на фоновые осадки на территории отбора проб [1, 3, 11]. Общая минерализация изменялась в пределах 2–10 мг/л.

Изучаемые пеплы извержений двух вулканов несколько отличаются между собой по химическому составу. Пеплы влк. Шивелуч содержат больше кремнезема (среднее содержание SiO_2 63 %) и относятся к андезидацитам в отличие от андезитовых пеплов влк. Безымянный (60 %). Последние содержат большее количество оксидов титана, алюминия, железа (преобладает двухвалентное) и кальция. Пеплы влк. Шивелуч богаче оксидом натрия при преобладании трехвалентного железа.

Пробы талой воды, содержащие пепел, по составу относятся к сульфатно-хлоридным кальциево-натриевым в отличие от фоновых – гидрокарбонатно-хлоридных натриевых. Их минерализация зависит от соотношения массы пепла и объема талого снега и составляет 20–2000 мг/л. Среди анионов преобладают SO_4^{2-} – 55–80 мг-экв % (100–300 мг/100 г пепла) и Cl^- – 15–40 мг-экв % (30–80 мг/100 г пепла). Также отмечается повышенное содержание ионов фтора, особенно для снеговых вытяжек влк. Безымянный, – 6–10 мг-экв % (рис. 8), что свидетельствует о преимущественно ювенильном составе его пеплов.

Как видно из рис. 8, вытяжки из пеплов вулкана Шивелуч имеют более широкий разброс значений по содержанию сульфат- и хлорид-ионов, чем пеплы влк. Безымянный. Для группы I шивелучских проб (крупнозернистые темные пеплы сильных эксплозий) характерно высокое содержание SO_4^{2-} – 75–85 мг-экв %, более низкое Cl^- – 15–25 мг-экв % и F^- – 1–4 мг-экв %. Для группы II (пылеватые рыжие пеплы лавин), характерно пониженное содержание SO_4^{2-} (55–75 мг-экв %) при повышенном Cl^- (25–40 мг-экв %) и F^- (4–8 мг-экв %). Эти различия можно объяснить тем, что сера менее растворима в магме и при поступлении последней на поверхность выделяется из нее в первую очередь в отличие от более растворимого хлора [8], при том, что пеплы эксплозий представлены более свежим материалом, чем пеплы лавин. В среднем 100 г пепла влк. Безымянный поставляют в снег при таянии 350–500 мг химических примесей, а влк. Шивелуч – от 120 до 750 мг в зависимости от физико-химических свойств тefры.

На диаграмму (рис. 8) для сравнения были также нанесены результаты анализа вытяжек из пеплов извержения влк. Авачинский 1991 г. [7], которые значительно отличаются от полученных нами. Примечательно также, что их состав заметно меняется по ходу извержения.

Понижение значений рН снеговой воды с пеплом, вызванное значительным увеличением количества в них анионов (благодаря сорбции на частицах пепла вулканических газов – SO_2 , H_2S , HCl , HF), незначительно. В большей степени это характерно для вытяжек

из пеплов влк. Безымянный, в то время как значения рН вытяжек из крупнозернистых пеплов влк. Шивелуч близки или даже немного выше фоновых. Объясняется это повышенным содержанием катионов Ca^{2+} , Na^+ , K^+ и Mg^{2+} в загрязненных пеплом образцах снега, происхождение которых в большей степени вызвано реакцией гидролиза силикатов, нейтрализующей кислотность осадков [14].

Влияние фумарольной деятельности влк. Авачинский на количество и состав химических примесей в снеге в южном направлении распространяется не далее 500–1000 м, а влк. Эбеко в восточном-юго-восточном направлении – на 8 км. Такое различие можно объяснить геоморфологическими и метеорологическими причинами. Для уточнения влияния последней необходимо проведение подобных исследований в других направлениях от кратеров вулканов.

Выводы

Исследование показало, что влияние эксплозивной вулканической активности на химию снега выражается в форме повышенных содержаний основных макрокомпонентов (в том числе токсичных ионов Cl^- , F^- , SO_4^{2-}) в присутствии тефры, в большинстве случаев пониженных значений рН. Причем количество привносимых в снег ионов и их соотношения сильно варьируют в зависимости от вулкана, а также типа и стадии его извержения.

Всего на площади, охваченной пеплопадами (31 тыс. км²), за 3,5 месяца – с декабря 2006 г. по середину марта 2007 г. – было вынесено 9,5 млн т пепла вулканов Безымянный и Шивелуч, а с ними – около 40 тыс. т водорастворимых веществ. Количество диоксида серы соответствует выбросам в атмосферу расчетного миллионного промышленного города за 1–3 месяца, а фтора – за год [11]. За одно извержение влк. Безымянный в течение часа в снег поступило столько же диоксида серы, сколько дают все промышленные источники Камчатского края за год [6], а соляной кислоты – столько же, сколько выбрасывает её ежегодно указанный выше город [11].

В среднем на территории пеплопадов минерализация снега на 1 м² (при плотности 300 кг/м³) повышена в 3–4 раза по сравнению с фоновыми осадками; вблизи вулканов, где масса пепла превышает 2 кг/м², – в 7 раз и более (табл. 5).

Рассмотренные нами извержения – только часть (пример) вклада вулканических извержений в химический состав сезонного снежного покрова Камчатки. Действующие вулканы Камчатки – постоянный и, очевидно, главный источник загрязнения природы полуострова, в целом, относительно слабо затронутого антропогенным воздействием.

Влияния фумарольной деятельности на химический состав снега проявляется в значительно меньших масштабах в виде пониженных значений рН снега и повышенного содержания ионов хлора, в меньшей степени сульфата.

Благодарности

Авторы выражают благодарность за участие в сборе фактического материала в процессе полевых работ сотрудникам ИВиС ДВО РАН Ю.В. Демянчуку, Л.В. Котенко, Т.А. Котенко, Т.М. Маневич, А.Г. Маневич, А.А. Овсянникову, С.Б. Самойленко, А.В. Сокоренко, С.В. Ушакову; за помощь в обсуждении материала – О.А. Гириной и Я.Д. Муравьеву; за выполнение химических анализов сотрудникам аналитического центра Л.Н. Гарцевой и С.В. Сергеевой.

Таблица 5. Содержание водорастворимых примесей в чистом (фон) и загрязненном пеплом снеге на площади 1 м²

	Фон (1м), мг	Т.38 (0,6 м, Ш 21 г, Б 400 г)*, мг	Т.38 фон **	Т.07 (0,7 м, Ш 30 г, Б 2400 г), мг	Т.07 фон
HCO ₃ ⁻	570	433	1,3	413	1,0
F ⁻	12	57	7,9	134	16,0
Cl ⁻	453	626	2,3	1843	5,8
NO ₃ ⁻	8	7	1,5	6	1,1
SO ₄ ²⁻	200	1090	9,1	4659	33,3
Na ⁺	500	465	1,6	1061	3,0
K ⁺	61	86	2,3	202	4,7
Ca ²⁺	104	395	6,3	1722	23,7
Mg ²⁺	19	58	5,1	214	16,1
NH ₄ ⁺	29	18	1,0	21	1,0
Сумма	1956	3235	2,8	10275	7,5

* – в скобках указана мощность снега в данной точке, масса пеплов вулканов Шивелуч (Ш) и Безымянный (Б) на м². ** – при вычислении отношения, фоновая минерализация пересчитывается на толщину снега в данной точке. Расположение точек 38 и 07 см. на Рис. 6.

Список литературы

1. Башарина Л.А. Влияние вулканической деятельности на химический состав атмосферных осадков и воздух Камчатки // Бюлл. вулканол. станций. 1974. № 50. С. 104–111.
2. Башарина Л.А. Водные вытяжки пепла и газы пепловой тучи вулкана Безымянного // Бюлл. вулканол. станций. 1958. № 27. С. 38–42.
3. Бримблкумб П. Состав и химия атмосферы. М.: Мир, 1988. 352 с.
4. Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Мельников Д.В. и др. Действующие вулканы Камчатки и Северных Курил в январе–июне 2007 г. // Геофизический мониторинг и проблемы сейсмической безопасности Дальнего Востока России: Тр. региональной науч.-техн. конф. Т. I. Петропавловск-Камчатский, 2008. С. 68–72.
5. Гирина О.А., Сенюков С.Л., Малик Н.А. и др. Изучение активности вулканов Камчатки и о. Парамушир (Северные Курилы) в 2006 г. в рамках проекта KVERT // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2006. № 2(8). С. 151–157.
6. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Камчатской области и Корякского автономного округа в 2003 году». Петропавловск-Камчатский: изд. Управления природных ресурсов и охраны окружающей среды МПР России по Камчатской области и Корякскому автономному округу, 2004. 206 с.
7. Дроздин В.А., Муравьев Я.Д. Энергетический и экологический аспекты извержения вулкан Авачинский на Камчатке (январь 1991 г.) // Вулканология и сейсмология. 1994. № 3. С. 3–19.
8. Дубик Ю.М., Меняйлов И.А. Новый этап эруптивной деятельности вулкана Безымянного // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 38–77.

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕЖНОГО ПОКРОВА В РАЙОНЕ АКТИВНЫХ ВУЛКАНОВ

9. *Котенко Т.А.* Некоторые особенности экологии города Северо-Курильск в период усиления фумарольной деятельности вулкана Эбеко (о-в Парамушир, Курильские о-ва) с января 2005 г. // Вестн. КРАУНЦ. Науки о Земле. 2008. № 1(11). С. 82–88.
10. *Овсянников А.А., Муравьев Я.Д.* Извержение вулкана Чикурачки в 1986 г. // Вулканология и сейсмология. 1992. № 5–6. С. 3–20.
11. *Прокачева В.Г., Усачев В.Ф.* Снежный покров в сфере влияния города. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 176 с.
12. *Федотов С.А.* Оценка выноса пепла и пирокластики вулканическими извержениями и фумаролами по высоте их струй и облаков // Вулканология и сейсмология. 1982. № 4. С. 3–29.
13. *Широков В.А.* Оценка массы и объема тефры при вулканических извержениях // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 24–34.
14. *Daniel A. Jaffe B.C., Kelley J.* The influence of Redoubt Volcano emissions on snow chemistry // J. Volcanol. Geotherm. Res. 1994. № 62. P. 359–367.