

## ОСОБЕННОСТИ ПИРОКЛАСТИЧЕСКИХ ПОРОД СОВРЕМЕННЫХ ИЗВЕРЖЕНИЙ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ

*Курочкина Т.А.*

*Камчатский государственный университет имени Витуса Беринга*

*Научный руководитель к.г.-м.н. О.А. Гирина*

В работе представлены результаты изучения отложений пирокластических потоков и пирокластических волн извержений вулкана Шивелуч в 2005 и 2010 гг.: описание отложений и сравнительная характеристика их химического, минерального и гранулометрического составов.

*Ключевые слова: пирокластический поток, пирокластическая волна, вулкан Шивелуч, Камчатка*

### ВВЕДЕНИЕ

Вулкан Шивелуч – самый северный действующий вулкан Камчатки. Он расположен в северной части Центральной Камчатской депрессии и включает три основных структуры: вулкан Старый Шивелуч высотой 3283 м, древнюю кальдеру и вулкан Молодой Шивелуч высотой около 2800 м [6, 7]. Продукты извержения вулкана Шивелуч представлены андезитами, но встречаются также базальты и андезибазальты [6, 7].

С 1980 г. по настоящее время вулкан Молодой Шивелуч находится в экструзивно-эксплозивно-эффузивной стадии развития, то есть рост лавового купола в эксплозивном кратере 1964 г. продолжается. Наиболее сильными эксплозивными событиями в течение последнего десятилетия стали извержения 2005 и 2010 гг. (рис. 1).

По объему изверженных продуктов извержение 27 февраля 2005 г. было крупнейшим после катастрофы 1964 г. Высота эруптивной колонны составляла примерно 10 км над уровнем моря, площадь отложений тефры - 25000 км<sup>2</sup> [3]. На юго-западном склоне вулкана образовались отложения пирокластического потока, площадь которых оценена в 21 км<sup>2</sup>, протяженность – 28 км, объем изверженных продуктов ~ 0,2 км<sup>3</sup> [8].



Рис. 1. Отложения пирокластических потоков извержений 2005 и 2010 гг.

27 октября 2010 г. произошло сильное эксплозивное извержение вулкана Шивелуч [3]. 28 – 29 октября на спутниковых снимках NOAA наблюдался пепловый шлейф, распространявшийся на восток на 2500 км. В результате извержения была разрушена часть экструзивного купола, образовался покров пирокластических отложений, площадь которых оценена приблизительно в  $20 \text{ км}^2$  [4]; протяженность – 17 км [9].

Целью работы является изучение характеристик пирокластических образований наиболее сильных извержений вулкана Шивелуч для определения сходства и различий механизмов их образования, и, следовательно, механизмов извержений, в результате которых они были сформированы.

Автором были изучены 19 образцов пирокластических отложений вулкана Шивелуч извержений 2005 г. и 2010 г.: потоков (14) и пирокластических волн (5), отобранных примерно на одинаковых расстояниях от вулкана.

*Пирокластические потоки* представляют собой газонасыщенную смесь разноразмерного пирокластического материала, имеющую в основном ламинарное течение, доля обломков в которой значительно превышает газовую составляющую [1, 2]. Потоки состоят из хаотически распределен-

ных в заполнителе обломков разного размера (до 5-8 м) и формы (рис. 2, а).

*Пирокластические волны* представляют собой слабонасыщенные обломочным материалом турбулентные потоки с низким соотношением компонентов: твердая составляющая – газ [1, 2] (рис. 2, б). Отложения пирокластических волн подстилают и обрамляют отложения потоков в форме отдельных дюн и дюнного рельефа.



Рис. 2. Пирокластические отложения вулкана Шивелуч извержения 2010 г.: а) – потока; б) – волны.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Во время полевых работ были изучены образования пирокластических потоков и волн – их структурно-текстурные особенности, взаимоотношение между собой. В лабораторных условиях исследовались заполнители пирокластических потоков и волн – частицы размером менее 2 мм. Химический состав заполнителей отложений определялся в Аналитическом центре Института вулканологии и сейсмологии ДВО РАН методом рентгенофлуоресцентного анализа. Для определения гранулометрического состава образцы заполнителей пирокластике разделялись сухим просеиванием на шесть фракций: 1-2 мм; 0,5-1; 0,25-0,5; 0,125-0,25; 0,064-0,125 и <0,064 мм. По результатам этого анализа вычислялись статистические гранулометрические характеристики отложений [10]. Минеральный состав каждой фракции изучался под биноклем.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Отложения пирокластических потоков**Химический и минеральный состав отложений

По химическому составу (табл. 1) заполнители отложений пирокластических потоков обоих извержений достаточно близки, содержание кремнекислоты в них варьирует в пределах от 60,1 до 60,9 %.

Таблица 1. Химический состав заполнителей пирокластических потоков в. Шивелуч

	извержение 2005 г.				извержение 2010 г.			
	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	60,9	60,3	60,5	60,5	60,1	60,5	60,7	60,2
TiO <sub>2</sub>	0,62	0,64	0,65	0,66	0,64	0,63	0,63	0,60
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,5	16,5	16,1	16,2	17,1	16,8	16,6	16,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,83	4,94	5,15	5,25	3,84	2,88	3,03	2,51
FeO	0,18	0,24	0,22	0,21	1,26	2	1,98	2,11
MnO	0,10	0,10	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10
CaO	6,63	6,82	6,92	6,98	6,61	6,6	6,57	6,37
MgO	3,61	3,71	3,66	4,11	4,48	4,02	4,1	4,53
Na <sub>2</sub> O	4,34	4,34	4,16	4,31	4,37	4,53	4,31	4,61
K <sub>2</sub> O	1,12	1,05	1,09	1,07	1,06	1,1	1,08	1,07
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,16	0,15	0,16	0,16	0,17	0,16	0,16	0,16
Sum	99,87	99,71	99,64	100,53	100,27	100,09	100,17	99,9

Заполнители отложений пирокластических потоков извержений, связанных с ростом лавового купола вулкана Шивелуч, состоят из обломков кристаллов минералов (плагиоклаз, пироксен, роговая обманка), их сростков, вулканического стекла и обломков пород (рис. 3).

Отмечается, что в более крупных фракциях содержится больше обломков горных пород и сростков кристаллов, в меньших фракциях преобладают обломки отдельных кристаллов.

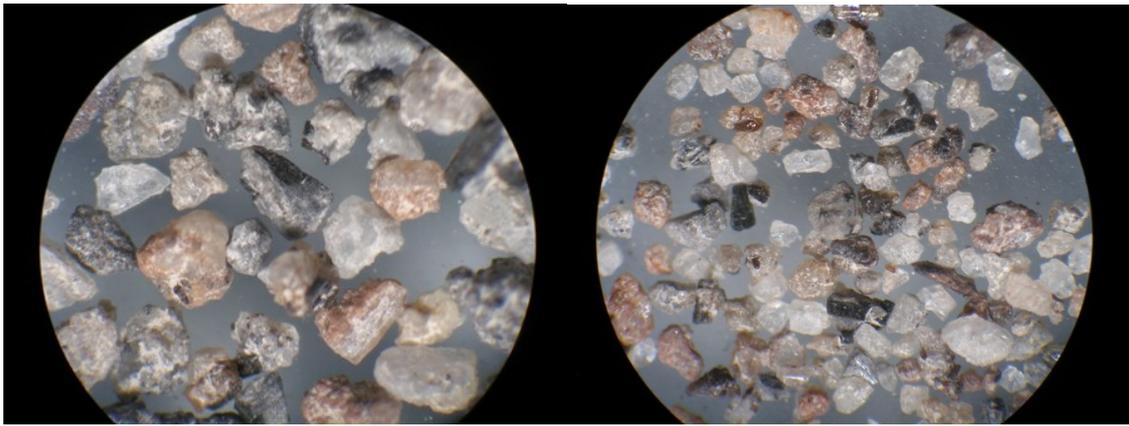


Рис. 3. Заполнитель отложений пирокластического потока (фракции 0,5-1 мм и 0,25-0,5 мм) вулкана Шивелуч извержения 2010 г. в 13 км от вулкана (увеличение в три раза).

### Гранулометрический состав заполнителей пирокластических потоков

Согласно классификации отложений по гранулометрическому составу (ГОСТ 12536-79), заполнители пирокластических потоков вулкана Шивелуч извержения 2005 г. и большинство заполнителей потоков извержения 2010 г. относятся к пескам средней крупности, так как содержание частиц диаметром более 0,25 мм в них превышает 50 %. Часть заполнителей пирокластических потоков 2010 г. относится к пескам мелким.

По характеру распределения частиц разного размера все заполнители пирокластических потоков изученных извержений аналогичны, но отложения 2005 г. более крупнозернистые, чем отложения 2010 г. (рис. 4).

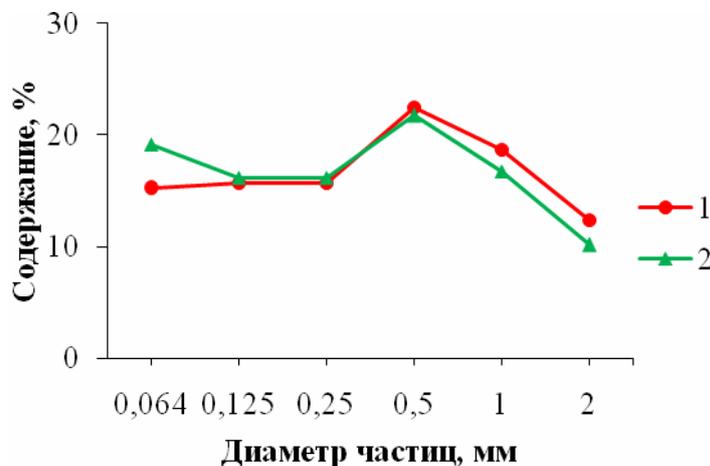


Рис. 4. Распределение частиц заполнителей пирокластических потоков вулкана Шивелуч:

1 – извержение 2005 г.;  
2 – извержение 2010 г.

Здесь и далее представлены графики средних значений содержания частиц.

В составе заполнителей пирокластических потоков обоих извержений преобладают частицы размером 0,25-0,5 мм (в отложениях 2005 г. – от 21 до 25 %, в 2010 г. – от 21 до 23 %). Кроме того, в отложениях 2010 г. выделяется повышенным содержанием наиболее тонкая фракция (< 0,064 мм) – 19-22 %. У заполнителей отложений 2005 г. содержание этой фракции составляет в среднем 15 % (рис. 5).

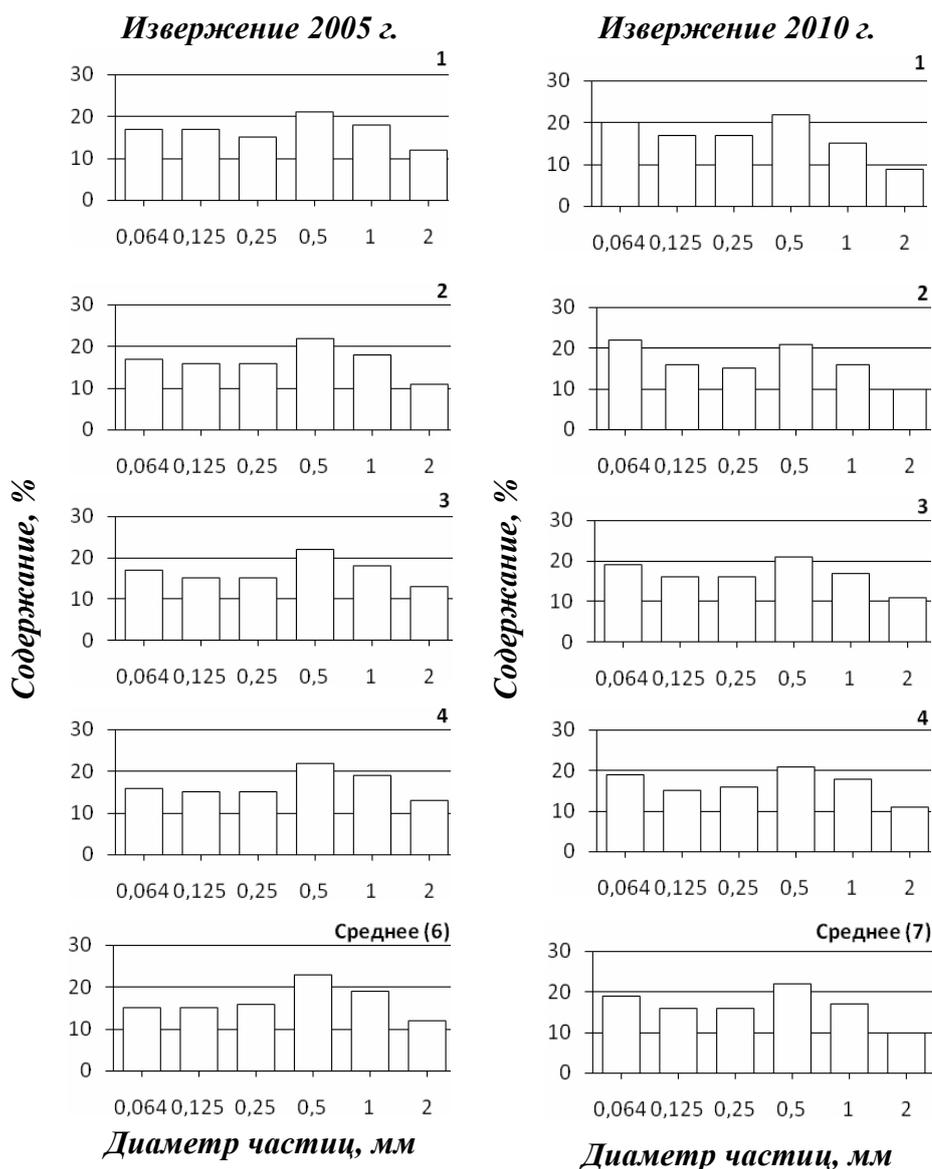


Рис. 5. Распределение фракций заполнителей пирокластических потоков вулкана Шивелуч извержений 2005 и 2010 гг.

Отсутствие резко выраженных максимумов на гистограммах распределения частиц по размерам свидетельствует о неоднородности и низкой сортированности частиц заполнителей пирокластических потоков.

В целом, значения основных гранулометрических характеристик заполнителей пирокластического потока извержения 2005 г. выше, чем пирокластического потока 2010 г. (табл. 2).

Таблица 2. Гранулометрические характеристики пирокластических отложений вулкана Шивелуч извержений 2005 и 2010 гг.

Генетический тип пирокластических отложений	Средний размер (по Inman), мм	Средний размер (по Folk), мм	Стандарт. отклонение	Асимметрия	Коэф. сортировки	Медиана, мм
Пирокластический поток, извержение 2005 г. (6)	0,47	0,41	0,43	0,56	0,41	0,29
	0,43-0,50	0,39-0,44	0,39-0,45	0,51-0,59	0,37-0,43	0,26-0,33
Пирокластический поток, извержение 2010 г. (7)	0,41	0,35	0,39	0,6	0,36	0,24
	0,38-0,44	0,33-0,39	0,36-0,41	0,57-0,62	0,32-0,39	0,21-0,27
Пирокластическая волна, извержение 2005 г. (3)	0,37	0,33	0,31	0,55	0,28	0,24
	0,30-0,42	0,26-0,37	0,25-0,35	0,54-0,57	0,23-0,32	0,2-0,28
Пирокластическая волна, извержение 2010 г. (2)	0,17	0,16	0,08	0,37	0,09	0,14
	0,13-0,2	0,13-0,18	0,06-0,1	0,33-0,4	0,06-0,11	0,12-0,16

**Примечание.** В числителе – среднее, в знаменателе – максимальное и минимальное значения. В скобках – количество образцов.

Медианные диаметры заполнителей пирокластических потоков изученных извержения вулкана Шивелуч хорошо различаются между собой. Для отложений 2005 г. в среднем он равен 0,29 мм, для 2010 г. – 0,24 мм, что указывает на большую крупнозернистость отложений 2005 г. Средний размер частиц, рассчитанный по Инману, равен 0,47 мм для потока 2005 г. и 0,41 мм для потока 2010 г.; по Фолку – 0,41 мм и 0,35 мм соответственно (табл. 2). По коэффициенту сортировки, значения которого составляют в среднем 0,41 для заполнителей потоков 2005 г. и 0,36 для заполнителей потоков 2010 г., все отложения характеризуются как умеренно и плохо сортированные. Та же характеристика отложений получается при рассмотре-

нии величин стандартного отклонения заполнителей потоков. Асимметрия распределения заполнителей всех пирокластических потоков вулкана Шивелуч сдвинута в сторону крупных частиц.

### ***Отложения пирокластических волн***

#### Химический и минеральный состав

Заполнители пирокластических волн 2005 г. по химическому составу близки заполнителям пирокластических потоков извержений 2005 и 2010 гг. Заполнители пирокластических волн 2010 г. отличаются более высоким содержанием кремнекислоты (до 62,3%).

Пирокластические волны изученных извержений состоят из обломков кристаллов минералов, их сростков, вулканического стекла и обломков горных пород. От заполнителей отложений пирокластических потоков они отличаются более высоким содержанием плагиоклаза.

#### Гранулометрический состав отложений пирокластических волн

Отложения пирокластических волн вулкана Шивелуч извержения 2005 г. относятся к пескам мелким (в них содержится 64 % частиц диаметром более 0,125 мм) и пескам средней крупности (до 53 % частиц размером более 0,25 мм) (ГОСТ 12536-79). Заполнители пирокластических волн извержения 2010 г. относятся к пескам мелким (до 64 % частиц размером более 0,125 мм), для них характерно отсутствие крупных обломков (более 1 мм).

Заполнители отложений пирокластических волн 2010 г. имеют одно-модальное распределение, что указывают на их хорошую сортированность. Напротив, отложения 2005 г. являются плохо сортированными (рис. 6).

Отложения пирокластических волн вулкана Шивелуч извержения 2010 г. характеризуются преобладанием тонкозернистых и мелких фракций (0,064-0,125 и 0,125-0,25 мм соответственно), среднее содержание которых составляет 73 %. Содержание крупнозернистой фракции не превышает 1 % (рис. 7).

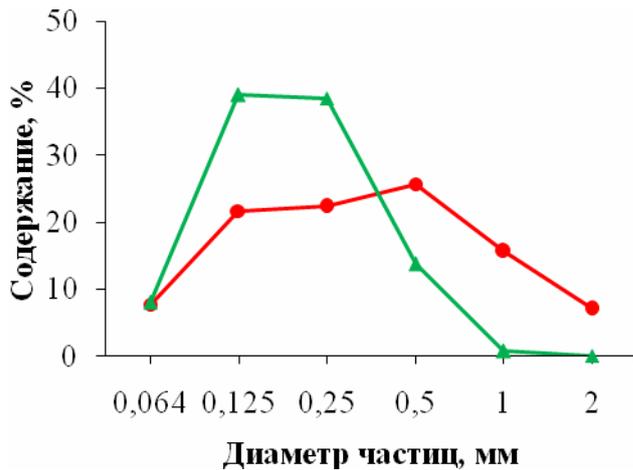


Рис. 6. Распределение частиц заполнителей пирокластических волн вулкана Шивелуч: 1 – извержение 2005 г.; 2 – извержение 2010 г.

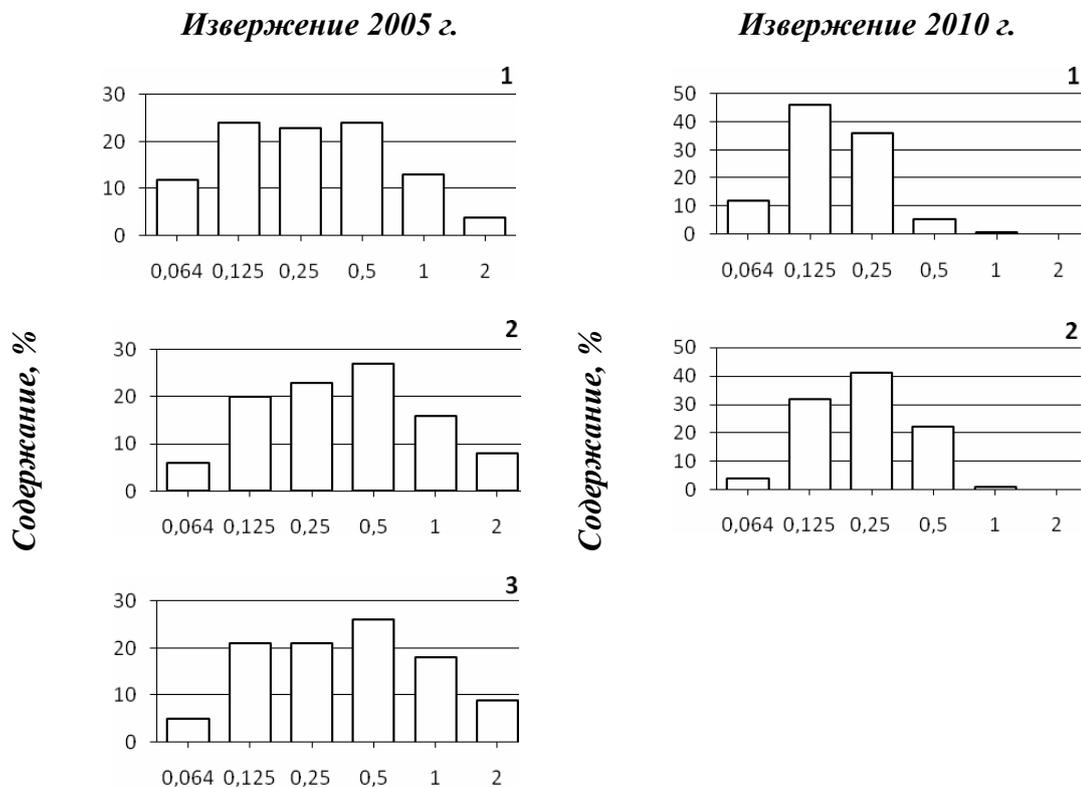


Рис. 7. Распределение частиц заполнителей пирокластических волн вулкана Шивелуч (извержений 2005 и 2010 гг.).

Отложения пирокластических волн извержения 2005 г. отличаются более высоким содержанием крупных частиц (17-27 %) и присутствием, наряду с тонкозернистой и мелкой фракцией, значительного количества среднезернистой фракции (24-27 %) (рис. 7).

Кумулятивная кривая заполнителей отложений пирокластических волн извержения 2005 г. имеет более пологий наклон, чем заполнителей отложений 2010 г., это указывает на меньшую сортировку частиц волн 2005 г. по сравнению с 2010 г. (рис. 8).

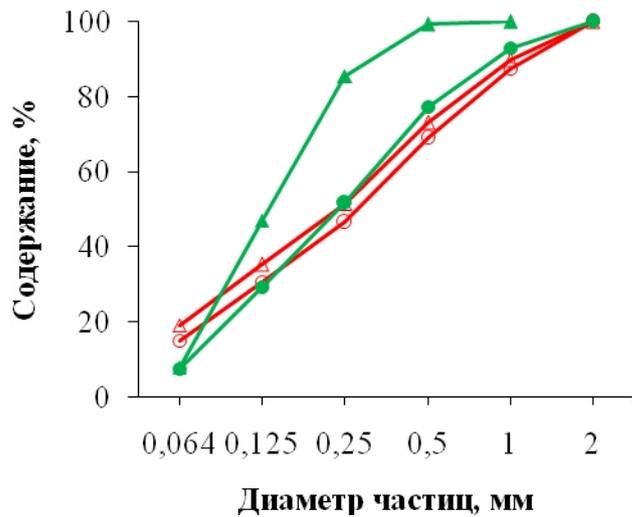
Значения основных гранулометрических характеристик заполнителей отложений пирокластических волн 2005 г. выше, чем пирокластических волн 2010 г. (табл. 1), то есть заполнители пирокластических волн 2010 г. более мелкозернистые и имеют лучшую сортированность, чем волн 2005 г.

### СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОТЛОЖЕНИЙ

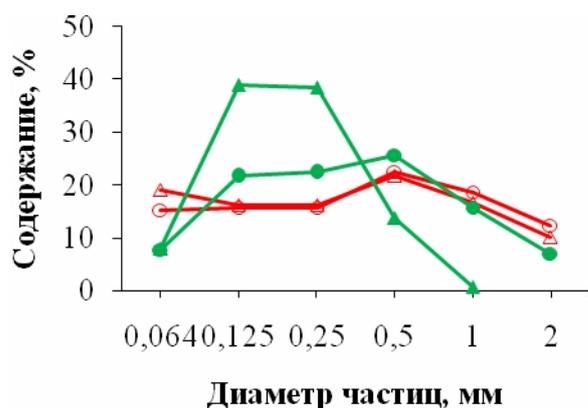
По химическому составу заполнители отложений пирокластических потоков обоих извержений и отложений пирокластических волн извержения 2005 г. достаточно близки, заполнители волны 2010 г. отличаются более высоким содержанием оксида кремния, что связано с повышенным содержанием в их составе плагиоклаза и вулканического стекла.

Отложения пирокластических потоков и волн очень хорошо различаются по гранулометрическому составу: по характеру распределения фракций, форме и местоположению на графике кумулятивных кривых, значению гранулометрических статистических коэффициентов. По кумулятивным кривым видно, что заполнители пирокластических потоков наиболее крупнозернистые из рассматриваемых отложений, заполнитель волны 2010 г. резко отличается от других отложений тонкозернистостью и лучшей сортированностью (рис. 8).

По характеру распределения частиц, заполнители отложений пирокластических потоков обоих извержений имеют полимодальное распределение, заполнители пирокластических волн 2010 г. – одномодальное, заполнители волн 2005 г. занимают промежуточное положение (рис. 9).



Соотношения основных гранулометрических характеристик показывают, что самыми тонкозернистыми являются заполнители пирокластических волн 2010 г., самыми крупнозернистыми – заполнители пирокластических потоков 2005 г., остальные занимают промежуточное положение (рис. 10). Наиболее хорошо сортированы заполнители отложений волн 2010 г., хуже – потоков, заполнители волн 2005 г. занимают промежуточное положение.



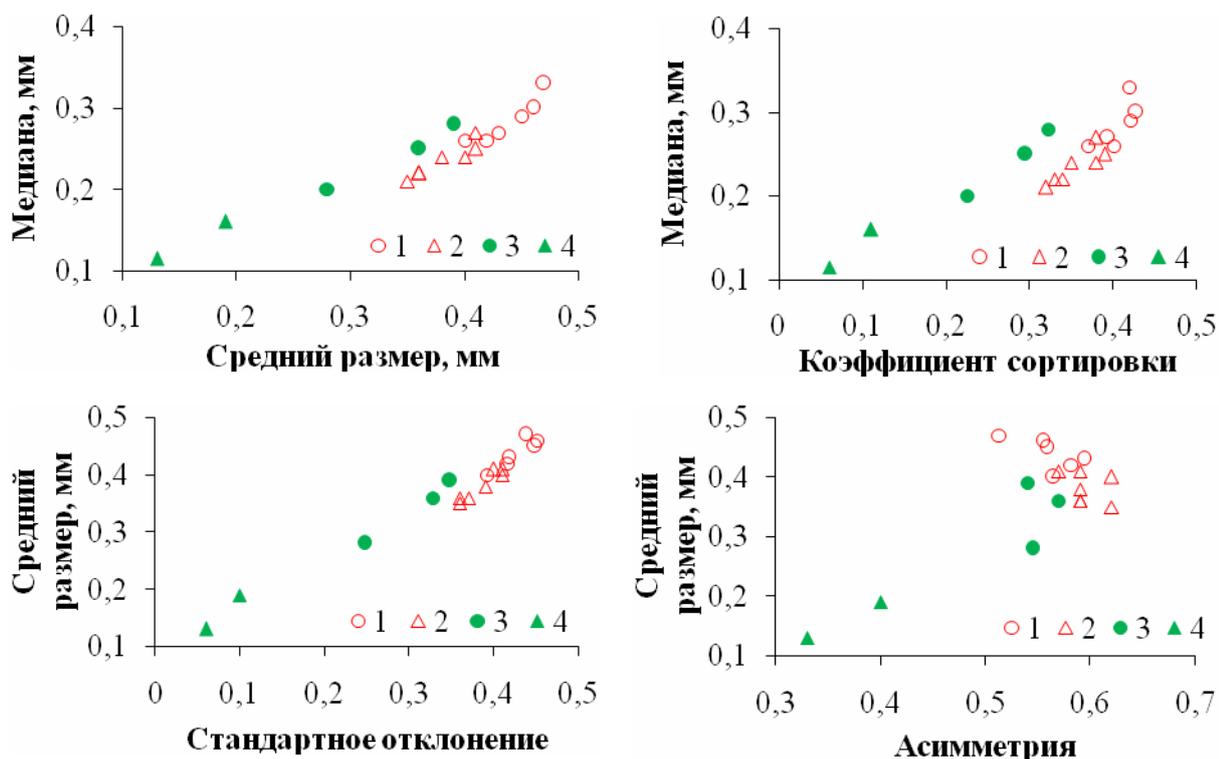


Рис. 10. Соотношения гранулометрических характеристик заполнителей пирокластических отложений: потоков: 1 – 2005 г.; 2 – 2010 г.; волн: 3 – 2005 г.; 4 – 2010 г.

Как было указано выше, образцы пирокластических отложений обоих извержений отбирались примерно на одних и тех же расстояниях от вулкана. При изучении пирокластики выяснилось, что заполнители отложений извержения 2005 г. более крупнозернистые, чем извержения 2010 г., исходя из этого, можно сделать вывод, что извержение 2005 г. было более сильным, чем извержение 2010 г.

## ВЫВОДЫ

- Заполнители отложений пирокластических потоков и волн извержения 2005 г. более крупнозернистые, чем извержения 2010 г. В составе заполнителей отложений волн 2005 г. содержится ~27 % частиц > 1 мм, в заполнителях отложений 2010 г. такие частицы отсутствуют.
- В заполнителях отложений потоков изученных извержений преобладают частицы размером 0,25-0,5 мм, их содержание составляет 21-25 %. Кроме того, в заполнителях отложений 2010 г. велика доля частиц размером < 0,064 мм (19-22 %).

- Заполнители отложений пирокластических волн 2010 г. характеризуются одномодальным распределением частиц, отложения 2005 г. – полимодальным.
- Заполнителям отложений пирокластических потоков обоих извержений, а также заполнителям отложений волн 2005 г. присуща плохая сортированность материала; заполнителю отложений волн 2010 г. хорошая сортированность частиц.
- Значения основных гранулометрических характеристик заполнителей пирокластических отложений извержения 2005 г. выше, чем 2010 г.
- Детальное изучение пирокластических отложений двух извержений вулкана Шивелуч показало, что извержение 2005 г. было более сильным, чем извержение 2010 г.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богоявленская Г.Е., Брайцева О.А. О генетической классификации пирокластических отложений и типах отложений извержения вулкана Безымянный в 1955 – 1956 гг. // Вулканология и сейсмология, 1988, № 3, С. 39-55.
2. Гирина О.А. Пирокластические отложения современных извержений андезитовых вулканов Камчатки и их инженерно-геологические особенности. Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН. Владивосток: Дальнаука, 1998. 174 с.
3. Гирина О.А., Демянчук Ю.В., Мельников Д.В., Ушаков С.В., Овсянников А.А., Соколенко А.В. Пароксизмальная фаза извержения вулкана молодой Шивелуч, Камчатка. 27 февраля 2005 г. (предварительное сообщение) // Вулканология и сейсмология, 2006, № 1, С. 16-23.
4. Гирина О.А., Маневич А.Г., Ушаков С.В., Мельников Д.В., Нуждаев А.А., Коновалова О.А., Демянчук Ю.В. Активность вулканов Камчатки в 2010 г. // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 19-24.
5. Маневич А.Г., Гирина О.А., Малик Н.А., Мельников Д.В., Ушаков С.В., Демянчук Ю.В., Котенко Л.В. Активность вулканов Камчатки и Северных Курил в 2005 г. Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы». Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2005. С. 77-80.
6. Мелекесцев И.В., Волынец О.Н., Ермаков В.А., Кирсанова Т.П., Масуренков Ю.П. Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. М.: Наука, 1991. С. 84-103.
7. Меняйлов А.А. Вулкан Шивелуч – его геологическое строение, состав и извержения // Труды лаборатории вулканологии АН СССР. 1955. Вып. 9. 264 с.
8. Нуждаев А.А., Гирина О.А., Мельников Д.В. Некоторые результаты изучения пирокластических отложений извержений 28 февраля и 22 сентября 2005 г. вулкана Молодой Шивелуч наземными и дистанционными методами // Вестник КРАУНЦ. Науки и Земле. 2005. № 2 (6). С. 62-66.

- 
9. Овсянников А.А., Маневич А.Г. Извержение вулкана Шивелуч в октябре 2010 г. // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2010. № 2 (16). С. 7-9.
  10. Романовский С.И. Физическая седиментология. Л.: Недра, 1988. 240 с.

## **FEATURES OF PYROCLASTIC ROCKS FROM RECENT SHEVELUCH VOLCANO ERUPTIONS**

***T.A. Kurochkina***

*Vitus Bering Kamchatka State University*

Results of study of pyroclastic flows and pyroclastic surges of 2005 and 2010 Sheveluch volcano eruptions are present in this work. The description of deposits and the comparative characteristic of their chemical, mineral and granulometric compositions are given.

*Keywords: pyroclastic flows, pyroclastic surges, Sheveluch volcano, Kamchatka*