

УДК 551.21

## ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА ПЕПЛОВ ВУЛКАНОВ КАМЧАТКИ И ВУЛКАНА АЛАИД

*Н.А. Малик<sup>1</sup>, К.Б. Мусеенко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-  
Камчатский, [malik@kscnet.ru](mailto:malik@kscnet.ru)*

<sup>2</sup>*Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва,  
[konst.dvina@mail.ru](mailto:konst.dvina@mail.ru)*

Представлены результаты детального гранулометрического анализа пеплов некоторых извержений 2006-2015 гг. вулканов Безымянный, Кизимен, Жупановский, Ключевской, Толбачик, Шивелуч и Алаид, выполненного совместно ситовым методом и методом лазерной дифракции. Показаны особенности гранулометрического состава пеплов вулканов со сходным и разным составом пород и типом извержений.

### **Введение**

Извержения взрывного типа, сопровождающиеся выбросом в атмосферу больших объёмов тefры, представляют значительный научный и практический интерес. Попадая в атмосферу, наиболее лёгкие фракции тefры, известные как вулканический пепел (частицы < 2 мм), вовлекаются в системы атмосферных движений различных масштабов, что определяет большое разнообразие условий их отложения на дневной поверхности Земли и широкий диапазон воздействия на среду обитания человека и природные экосистемы – от локального, обусловленного высокими концентрациями пепловых частиц в воздухе и на подстилающей поверхности в зонах пеплопадов, до глобального, через увеличение концентрации диоксида серы и аэрозольных частиц в верхних слоях атмосферы и возрастание общего содержания атмосферной пыли, что может повлечь за собой заметные изменения в радиационном балансе планеты. Гранулометрический состав тefры, наряду с её суммарной массой, принадлежат к числу важнейших параметров взрывного извержения, используемых при классификации отложений [1, 2], исследованиях механизмов атмосферного переноса и отложения пеплового материала [5, 6, 9, 12], оценках экологической нагрузки на природные экосистемы, анализе различных свойств пепловых частиц, в т.ч. сорбционных [3]. При исследованиях древнего вулканизма гранулометрический состав тefры использовался в ряде работ с целью определения высоты эруптивной колонны, пространственной локализации эруптивного центра, исследований режимов атмосферной циркуляции в геологическом прошлом, палеомагнитных реконструкций.

В работе представлены результаты гранулометрического анализа пеплов, выполненного совместно методами ситового анализа и лазерной дифракции. Впервые приведен детальный гранулометрический состав: 23-х проб пеплов вулкана Кизимен, изверженных с декабря 2010 по 2011 гг. (в т.ч. 11 проб взрыва 13.01.11), по 4 пробы Безымянного извержений 24 декабря 2006 г., 17 декабря 2009 г и 5 проб - 9 марта 2012 г., 3 пробы Жупановского взрывных

событий октября 2013 г.<sup>1</sup>, 25.11.2014 г., 16.01.2015 г.<sup>2</sup>, двух проб Алаида, отобранных 27 октября 2012 г. [8] и по одной пробе пеплов вулканов Шивелуч (10.01.2016 г.), Ключевской (январь 2015 г.) и ТТИ-50 (28.11.2012 г.).

### Методы

Гранулометрический анализ тефры и других типов пирокластических отложений выполнялся ситовым методом с промывкой водой по стандартной методике (ГОСТ 12536-79). Использовались сита с размером ячеек в соответствии с общепринятой шкалой (0,063, 0,125, 0,25, 0,5, 1, 2 мм), дополнительно для выделения наиболее мелкой фракции использовалось сито с минимальным размером ячейки – 0,056 мм.

Для более детального и качественного изучения гранулометрического состава тефры кроме ситового анализа использовался лазерный дифракционный анализатор частиц «Analysette-22 СОМПАКТ» фирмы FRITSCHE GmbH, позволяющий определять распределение частиц по размерам в диапазоне 0,3-300 мкм. Использование совместно этих методов позволяет производить разделение пробы на фракции в широком диапазоне размеров частиц (от 0,3 мкм до 2 мм и более). Результаты анализа пробы ситовым методом и наиболее мелкой фракции (<56 мкм) методом лазерной дифракции объединялись с помощью программного обеспечения «А-22» к лазерному дифракционному анализатору «Analysette-22 СОМПАКТ». С его использованием также вычислялись такие гранулометрические характеристики пеплов как суммарная площадь поверхности частиц ( $\text{м}^2/\text{г}$ ,  $\text{м}^{-1}$ ), средний размер, медиана, стандартное отклонение (сортировка) и т.д.

### Результаты

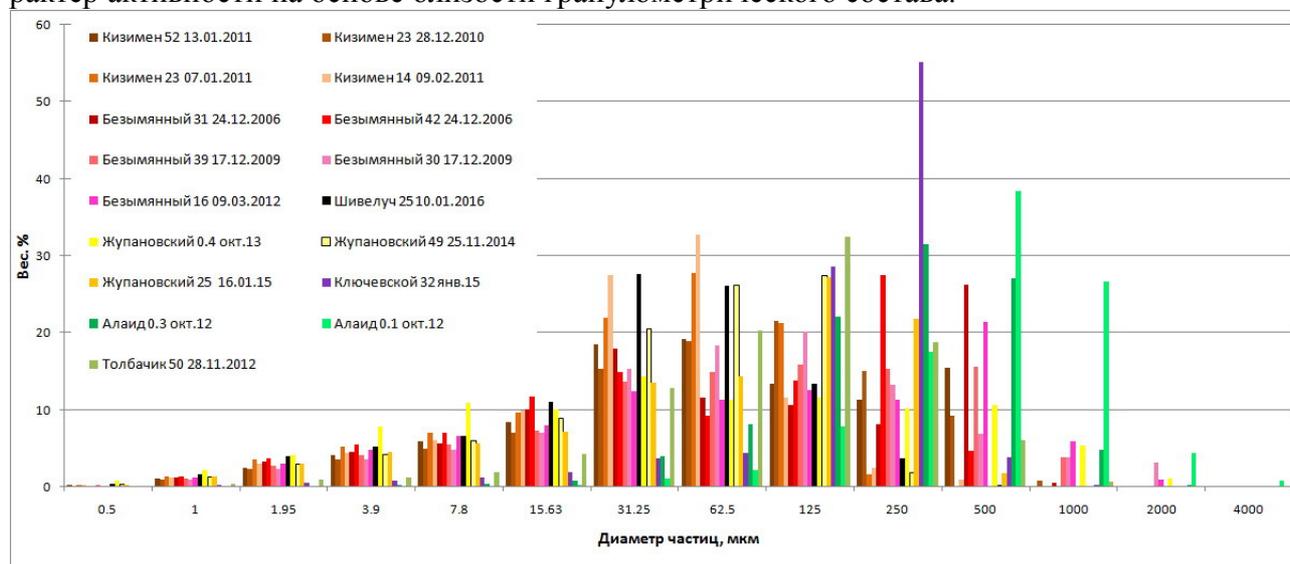
Результаты анализа представлены на графиках (рис. 1, 2, 3). Во всех пробах пеплов андезитовых вулканов Безымянный, Кизимен, Шивелуч и Жупановский очень высоко содержание пылеватых фракций, независимо от расстояния отбора пробы от вулкана. В то же время в пеплах базальтовых вулканов Ключевской, Толбачик и Алаид, доля пылеватых фракций значительно меньше даже на значительном удалении от вулкана (30-50 км). Это находит отражение в значениях удельной площади поверхности (УПП) пеплов (рис. 3), которая для всех проб андезитового и дацитового состава имеет высокие значения. Причем для отдельных событий отмечается очень слабая корреляция УПП пеплов с расстоянием от вулкана (Безымянный 2006 и 2012 гг.) или её полное отсутствие (Безымянный 2009 г., Кизимен 13.01.2011 г. – наиболее подробно изученное событие), вместо ожидаемого увеличения УПП пеплов с расстоянием.

В работе [10] такие различия в гранулометрическом составе объясняются существованием двух возможных источников пепловых облаков – эруптивной колонны и коигнимбритовых облаков (облаков пирокластических потоков (ПП)), и приводится статистически обоснованное разделение гранулометрических параметров для двух указанных типов отложений. Как

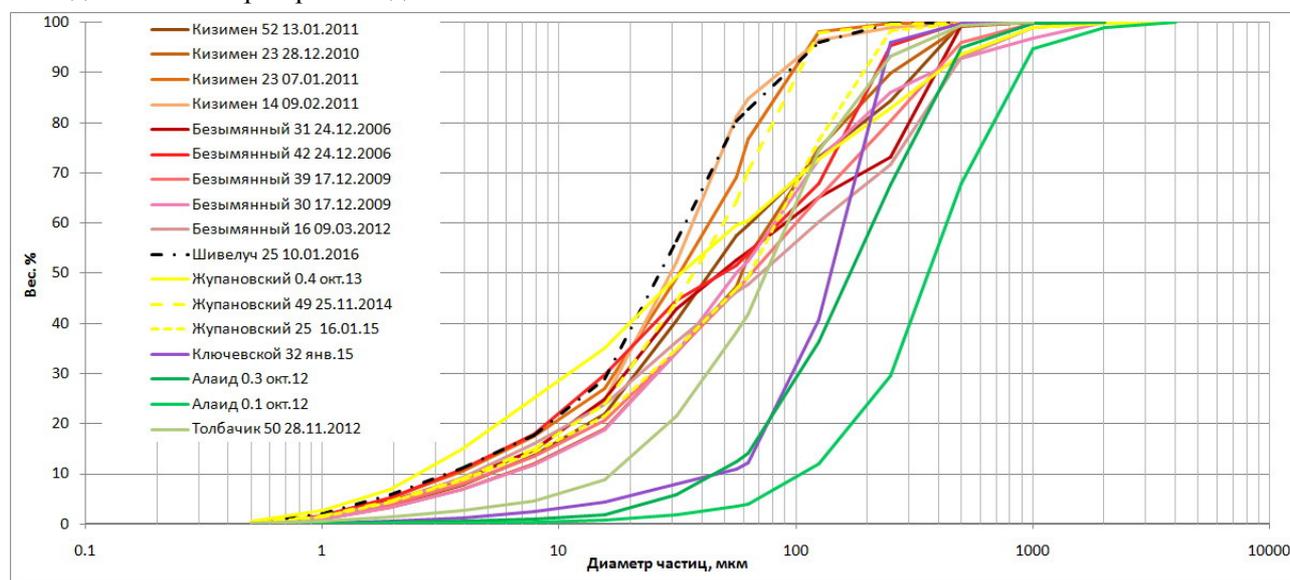
<sup>1</sup>[http://www.ivs.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform\\_messages/2013/Gupanovsky\\_261013/Gupanovsky\\_261013.html](http://www.ivs.kscnet.ru/ivs/volcanoes/inform_messages/2013/Gupanovsky_261013/Gupanovsky_261013.html)

<sup>2</sup><http://www.emsd.ru/~ssl/monitoring/main.htm>

известно для хорошо изученных извержений вулканов Безымянный, Шивелуч, Кизимен, эксплозии обычно сопровождаются пирокластическими потоками или раскаленными лавинами, т.е. пепловые отложения формируются за счет обоих источников. Извержение вулкана Жупановский, начавшееся в 2013 г., пока изучено недостаточно; можно предположить сходный характер активности на основе близости гранулометрического состава.



**Рис. 1.** Гранулометрический состав пеплов. В легенде после названия вулкана указано расстояние от него до точки отбора пробы и дата эксплозивного события.



**Рис. 2.** Кумулятивные кривые гранулометрического состава пеплов. В легенде после названия вулкана указано расстояние от него до точки отбора пробы и дата эксплозивного события.

Проведенные нами численные эксперименты по моделированию атмосферного переноса/отложения пепловых частиц для извержения вулкана Безымянный 24.12.2006 г. [6, 12] показали, что существенная доля выброса,  $\sim 30\%$ , приходится на высоты 2.5–6.5 км н.у.м., что значительно ниже уровня нейтральной плавучести (9.5 км н.у.м.) подветренного

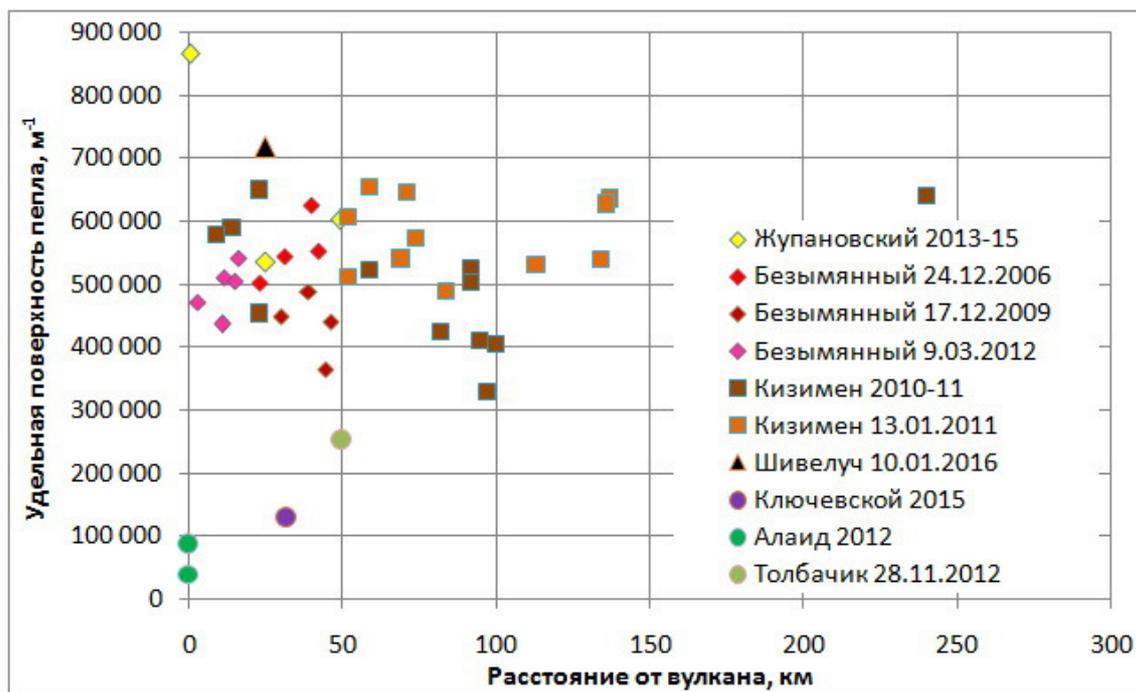


Рис. 3. Изменение удельной площади поверхности пеплов с расстоянием от вулкана.

пеплового шлейфа эруптивной колонны, распространявшегося примерно на высоте тропопазы. Вероятнее всего, основным источником выброса на этих высотах являются облака ПП, что следует непосредственно из модельных расчетов (решения обратной задачи переноса). Аналогичная ситуация в динамике извержения наблюдалась и во время других эруптивных событий этого и других вулканов – Шивелуча и Кизимена.

### Заключение

Полученные результаты имеют как теоретическое, так и практическое значение, связанное с уточнением аэродинамических параметров пепловых частиц в моделях атмосферного переноса вулканического пепла и численного прогноза пепловых облаков. Данные гранулометрического анализа для вулканов Безымянный и Кизимен используются при численном решении обратной задачи восстановления массовых параметров пеплового выброса и валидации атмосферной модели переноса вулканического пепла для района Камчатки [5, 6, 12].

Использование лазерного дифракционного анализатора частиц позволило выделить кроме "ингалируемой" фракции ( $< 100$  мкм), способной проникать только в верхние отделы дыхательных путей, вызывая раздражение, также и "грудную - торакальную" фракцию ( $< 10$  мкм), осаждающуюся в верхних отделах легких, вызывая приступы астмы и бронхита, и "респираторную - вдыхаемую" фракцию ( $< 4$  мкм), частицы которой осаждаются в альвеолярном, газообменном отделе, вызывая рак легких, силикоз, и поэтому представляющие наибольший интерес для задач экологии [11].

Детальный гранулометрический анализ показал наличие значительной доли пылевой фракции и отсутствие выраженной зависимости ее от расстояния в пеплах извержений вулкана.

нов Безымянный, Кизимен, Шивелуч и др., что объясняется двумя источниками пепловых отложений – эруптивная колонна и облака пирокластических потоков. В таких пеплах велико содержание «опасных» фракций: <10 мкм - 16-22% и <4 мкм - 8-11% на расстоянии 10-100 км от вулкана. Пеплы вулканов Алаид, Ключевской, Толбачик имеют более крупнозернистый состав, содержание указанных фракции в них не превышает, соответственно, 5 и 2,5%.

Знание гранулометрического состава, свойственного пеплам, и источников пеплопадов определенных вулканов важно для оценки воздействия на окружающую среду и человека, объяснения сорбционных и других свойств пеплов, химического состава и др.

Так, благодаря вкладу пеплов облаков ПП, имеющих более кислый химический состав (на 2-3% SiO<sub>2</sub>) по сравнению с другими типами пирокластики [1, 2], не удается проследить эоловую гравитационную дифференциацию пеплов для извержений вулканов Кизимен и Безымянный, проявляющуюся в закономерном изменении их химического состава с расстоянием. В то же время, в пепле вулкана Кизимен, отобранном в ближней зоне, явно повышено содержание SiO<sub>2</sub> - до 68%, по сравнению с другими изверженными породами (56,5-64,5%) [4, 7]. Аналогичная ситуация наблюдается и для продуктов извержений Безымянного вулкана [3].

Полученные выводы являются предварительными и требуют дополнительных анализов проб пеплов вулканов Шивелуч, Ключевской, Толбачик, Жупановский и др., для которых обработано только по 1-3 пробы.

Работа выполнена при частичной **поддержке гранта РФФИ № 16-35-50004**.

Авторы выражают **благодарность** сотруднику ИВиС ДВО РАН А.Б. Белоусову, которым был приобретен лазерный дифракционный анализатор частиц «Analysette 22 Compact» по гранту фонда А. Гумпбольда; а также сотрудникам принимавшим участие в отборе проб пепла Ю.В. Демянчуку, Т.М. Маневич, Я.Д. Муравьеву, А.А. Овсянникову, А.В. Сокоренко.

### Литература

1. *Гирин О.А.* Конвективная гравитационная дифференциация пирокластики андезитовых вулканов // Литосфера. 2010. № 3. С. 135-144.
2. *Гирин О.А.* Пирокластические отложения современных извержений андезитовых вулканов Камчатки и их инженерно-геологические особенности. Владивосток. 1998. 174 с.
3. *Малик Н.А.* Извержение вулкана Безымянный 24 декабря 2006 г., Камчатка // Вулканология и сейсмология. 2011. № 4. С. 50-59.
4. *Малик Н.А., Максимов А.П., Ананьев В.В.* Извержения вулкана Кизимен в 2010-2012 гг. и его продукты // Материалы региональной конференции «Вулканизм и связанные с ним процессы», посвящённой Дню вулканолога, 29 - 30 марта 2012 г. – Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2012. С. 64-70.
5. *Моисеенко К.Б., Малик Н.А.* Оценка суммарной массы выбросов вулканического пепла с использованием моделей атмосферного переноса // Вулканология и сейсмология // Вулканология и сейсмология. 2015. № 1. С. 35-55.

6. *Моисеенко К.Б., Малик Н.А.* Численное решение обратной задачи восстановления суммарной изверженной массы вулканического пепла и ее распределения по высотам в эруптивном облаке // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2015. № 1 (25). С. 79-86.
7. *Овсянников А.А., Малик Н.А.* Тephра извержение вулкана Кизимен в декабре 2010 г. – феврале 2011 г. // Материалы конференции, посвященной Дню вулканолога «Вулканизм и связанные с ним процессы», 30 марта – 1 апреля 2011 г. - Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2011. С. 57-61.
8. *Рашидов В.А., Малик Н.А., Фирстов П.П. и др.* Активизация вулкана Алаид (Курильские острова) в 2012 году // Вестник КРАУНЦ. Науки о Земле. 2012. № 2 (20). С. 7-10.
9. *Bonadonna C., Macedonio G., Sparks R.S.J.* Numerical modelling of tephra fallout associated with dome collapses and Vulcanian explosions: application to hazard assessment on Montserrat. The eruption of Soufrière Hills Volcano, Montserrat, from 1995 to 1999. Eds. Druitt T.H. and Kokelaar B.P., London: Geological Society, 2002. P. 517-537.
10. *Darteville S., Ernst Ge'rald G.J., Stix J., Bernard A.* Origin of the Mount Pinatubo climactic eruption cloud: Implications for volcanic hazards and atmospheric impacts // *Geology*. 2002. V. 30. № 7. P. 663–666.
11. *Hillman E.S., Horwell C.J., Densmore A.L., et al.* Sakurajima volcano: a physico-chemical study of the health consequences of long-term exposure to volcanic ash // *Bulletin of Volcanology*. 2012. V. 74. P. 913-930.
12. *Moiseenko K.B., Malik N.A.* Estimates of total ash content from 2006 and 2009 explosion events at Bezymianny volcano with use of a regional atmospheric modeling system // *J. Volcanol. Geotherm Res.* 2014. 53. V. 270. P. 53-75.