

## ОТЗЫВ

Об автореферате диссертации **Н. А. Малик** «*Пеплы извержений вулканов Камчатки (2006–2013 гг.): состав, масса и водорастворимый комплекс*», представленной на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук по специальности 25.00.04 – петрология, вулканология

Диссертация представляет собой редкий пример довольно технологичных исследований продуктов современного вулканического минерало-породообразования, чем и заслуживает благожелательного внимания. Объектами изучения послужили пеплы 2006–2013 гг. извержений камчатских и курильских вулканов: Безымянного, Кизимен, Шивелуч, Карымского, Жупановского, Ключевского, Камбального, Алаид. Следует подчеркнуть, что исследованную группу входят как вулканы Ключевской группы (Ключевской, Безымянный, Толбачик, Кизимен), располагающиеся по Л. И. Гонтовой над мантийным диапиром, так и вулканы, приуроченные к вулcano-тектоническим депрессиям и грабен-синклиналям, включая вулкан Камбальный, недавнее извержение которого мы относим к смешанному расплавно-резургентно-гидротермальному типу.

В качестве цели исследований диссертантка определила композиционную оценку массы пирокластических продуктов, содержащихся в них водорастворимых соединений, морфолого-гранулометрических свойств пепловых фракций с акцентом на пылеватые частицы размером менее 55–60 мкм и закономерностей рассеяния эруптивно-пеплового облака в атмосфере после извержений. К наиболее важным задачам отнесены: 1) определение гранулометрического состава пеплов с использованием лазерной дифрактометрии и вычислений не только размера, но и удельной поверхности частиц наиболее важной для экологов пылеватой фракции; 2) определение состава сорбированных в частицах водорастворимых соединений и корреляция этого состава с общим химизмом пеплов и типом извержений; 3) определение закономерностей вариации состава сорбированных в пепловых частицах водорастворимых соединений и пропорций между компонентами  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$  и  $\text{F}^-$ .

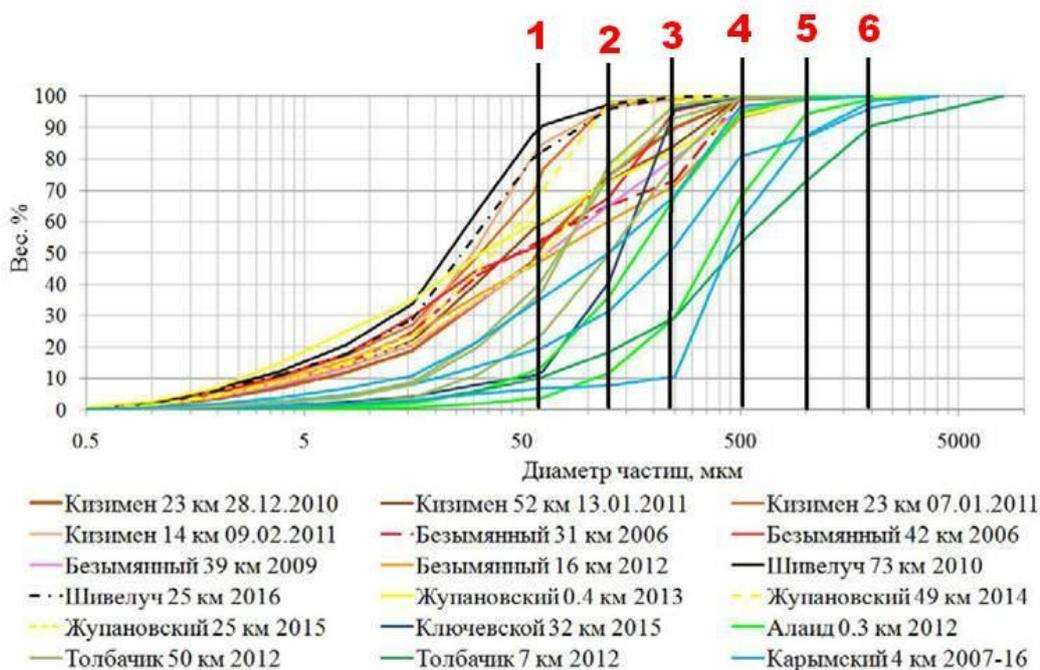
На защиту вынесены три научных утверждения.

- 1. По данным отбора площадных проб пеплов эксплозивных извержений вулканов Безымянный, Шивелуч, Карымский, Кизимен и ТТИ-50 в период 2006–2013 гг. установлено, что масса тефры, изверженной вулканами Камчатки за 8 лет, составила  $150 \pm 50$  млн. т среднего и кислого (андезиты–дациты) состава и  $80 \pm 10$  млн. т основного (базальты–андезибазальты) состава. Ежегодно вулканы Камчатки выбрасывали в атмосферу в среднем 29 млн. т тефры.*

Диссертантка в составе продуктов вулканических извержений выделяет четыре фации: лавы, пирокластические потоки (ПП), тефру, экструзии. В целом для периода 2006–2013 гг. насчитано около 4000 млн. т различных продуктов извержения на 9 вулканах, состав которых на 43.5 % обеспечили лавы, на 34 % – ПП, на 4 % – тефра, на 18.5 % – экструзии. Судя по представленной оценке, распределение зарегистрированных продуктов извержения по фациям на исследованных вулканах обнаруживает некоторую упорядоченность, на базальтоидных вулканах ключевской группы преобладают лавы и

ПП (плюс тефра), а для андезит-дацитовых вулканов характерны ПП и экструзии (Шивелуч, Корякский).

Объектам собственного исследования диссертантка выбрала ПП – летучую фацию пепла, особенно в части пылевой фракции, и тефру – пепловые осадки. Оценку массы пеплов она анализировала с использованием экспоненты ( $y = e^x$ ) и степенной функции ( $y = x^n$ ). В результате она пришла к выводу о большей достоверности степенной аппроксимации, что представляется правдоподобным, поскольку для экспоненциальной зависимости распределение пеплов по массам не достаточно сложная функция. Данные гранулометрического анализа представлены в виде сводки кумулятивных кривых, которая оказалась довольно информативной. В частности, обнаруживается (рис. 5), что по положению перелома на кривых накопленных частот исследованные вулканы образуют в некотором смысле последовательность: 1) Шивелуч+Безымянный – перелом около 50 мкм; 2) Жупановский – 200–250 мкм; 3) Кизимен – около 350 мкм; 4) Карымский, Толбачик – около 500 мкм; 5) Карымский, Толбачик, Алаид – 1300–1400 мкм; 6) Ключевской, Карымский – 3300–3400 мкм. Из этой последовательности следует, что андезитовые пеплы заметно уступают по летучести пеплам андезибазальтового и базальтового состава, что, скорее всего, связано с системными различиями по гранулометрии (первые, вероятно, гранулометрически более грубые).



**Рис. 5.** Кумулятивные кривые гранулометрического состава вулканических пеплов

В качестве небольшого замечания мы можем отметить необычное для нас построение шкалы абсцисс на рис. 5. Понятно, что это шкала приведена в логарифмическом масштабе, но почему-то отрезками 0.5–5 (первый порядок), 5–50 (второй порядок), 50–500 (третий порядок) и т. д. Однако в целом рассмотренное положение мы склонны признать доказанным.

2. С пеплами извержений вулканов Камчатки в 2006–2013 гг. на земную поверхность ежегодно в среднем поступало более 80 тыс. т (0.28 % от массы пеплов) водорастворимых веществ, в том числе около 41 тыс. т  $SO_4^{2-}$  (72 %), 13

тыс. т  $Cl^-$  (23 %), 3 тыс. т  $F^-$  (5 %). Наибольший вклад внесла постоянная активность вулкана Шивелуч (не менее 45 %), а также регулярные средней силы извержения вулкана безымянный (16 %), мощные извержения данного периода – ТТИ-50 (18 %) и вулкана Кизимен (16 %).

Водорастворимые компоненты (ВРК) в пеплах анализировались методом водных вытяжек. В результате выяснилось, что эти ВРК в пепловой фации находятся в обратных корреляциях, т. е. конкурируют (рис. 9, 10). При этом в целом на вулканах в составе ВРК резко преобладает сульфатная компонента (72 %), ей в 3 раза уступает хлоридная компонента (23 %) и примерно в 14 раз – фторидная (5 %). По коэффициенту  $[SO_4]^{2-}/Cl^-$  в пеплах вулканы подразделяются на три группы (в скобках значение коэффициента): 1) Кизимен (4); 2) Карымский + Ключ + Кизимен + Жупановский + Шивелуч + Камбальный (1); 3) Торбачик + Алаид (0.2). По коэффициенту  $Cl^-/F^-$  те же вулканы могут быть разделены то же на три группы: 1) Жупановский (100); 2) Кизимен + Шивелуч + Камбальный (25); 3) Толбачик + Ключ (2–4).

Таким образом, все множество исследованных диссертанткой вулканов по химизму ВРК можно довольно контрастно разделить на 1) преимущественно сульфатные (Кизимен, Камбальный); 2) фтор-хлор-сульфатные (Жупановский, Шивелуч, Безымянный, Карымский, Горелый, Ключевской, Авачинский) и 3) преимущественно галоидные (Толбачик, Алаид). При этом вулканы, по признаку обогащения ВРК галоидами, дополнительно могут быть разделены на фтор-хлористые (Толбачик, Ключевской, Авачинский, Горелый), хлористые с примесью фтора (Кизимен, Карымский, Шивелуч, Камбальный) и хлористые (Жупановский).

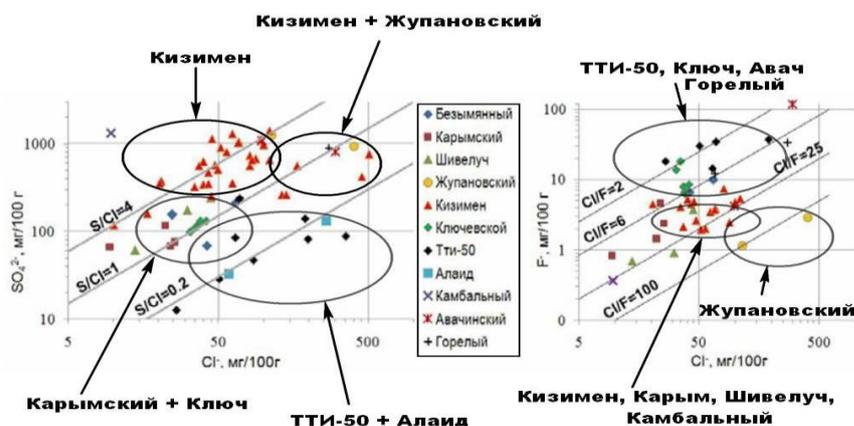
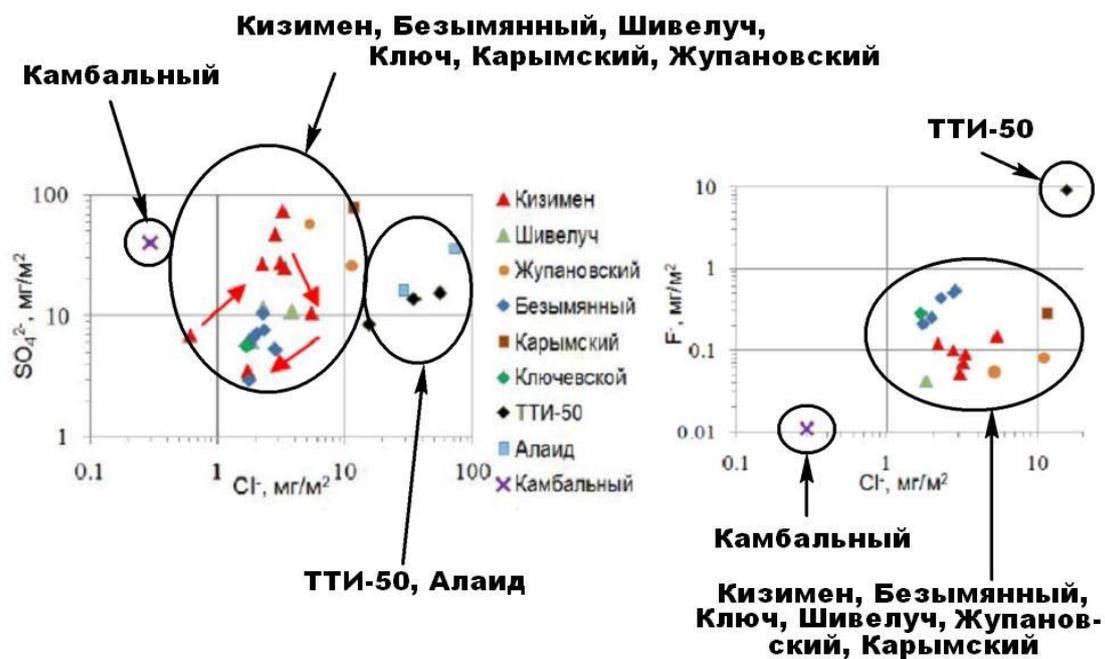


Рис. 9. Содержание сульфат-, хлорид- фторид-ионов в водных вытяжках из вулканических пеплов



**Рис. 10.** Содержание сульфат-, хлорид- и фторид-ионов, пересчитанных на единицу площади поверхности вулканических пеплов

Принципиальных замечаний к рассмотренному разделу диссертации у нас нет, соответствующее защищаемое научное утверждение мы считаем достаточно хорошо обоснованным.

3. В пеплах таких андезитовых вулканов Камчатки как Кизимен, Безымянный, Шивелуч, для извержений которых характерно формирование пирокластических потоков, выявлено высокое содержание (более 40 мас. %) пылеватой фракции (размер частиц менее 56 мкм), в том числе в ближней зоне пеплопадов. Эта особенность связана с совместным осаждением пеплов из эруптивной колонны и из облаков, сопровождающих сход пирокластических потоков, и влияет на сорбционные, минералогические, петрохимические и другие характеристики пеплов этих вулканов.

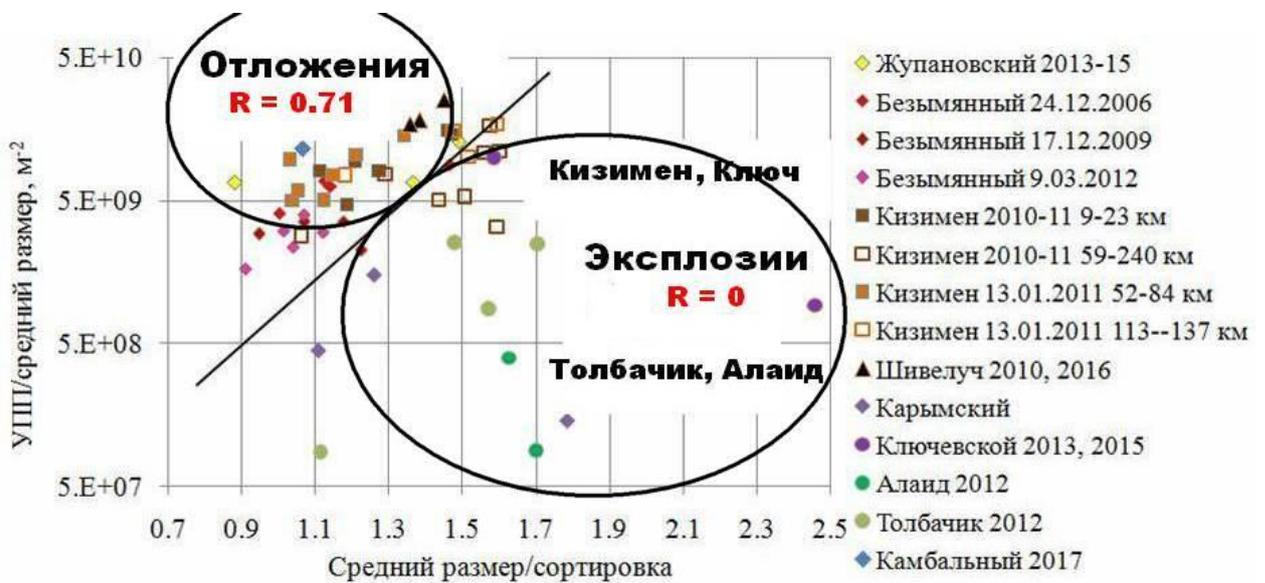
В части гранулометрического анализа особенно детально диссертанткой исследована пылеватая фракция пеплов, чему, безусловно, поспособствовало использование лазерного дифрактометра и приложенного к нему современного программного обеспечения, что позволило выйти на определение удельных поверхностей (УП) пепловых материалов. Полученные результаты привели к нескольким выводам.

Во-первых, автором показана статистическая тенденция к прямой обратной корреляции между дисперсностью пеплов (величина УП) и дальностью его разноса, т. е., чем более массивны пеплы (с меньшей величиной УП), тем они дальше разносятся (рис. 1). При этом статистически такие пеплы имеют андезибазальтовый состав, а отличии от андезитовых базальтов более дисперсных пеплов. Показательно также, что, судя по данным диссертантки, что рассеяние пылеватых более массивных андезибазальтовых пеплов происходит с явной тенденцией к гранулометрической дифференциации – с ростом дальности переноса величина УП пеплов возрастает. Причем степень такой дифференциации пеплов с дальностью усиливается, что отражается в величине соответствующего коэффициента парной корреляции (R от 0.3 в диапазоне до 50 км

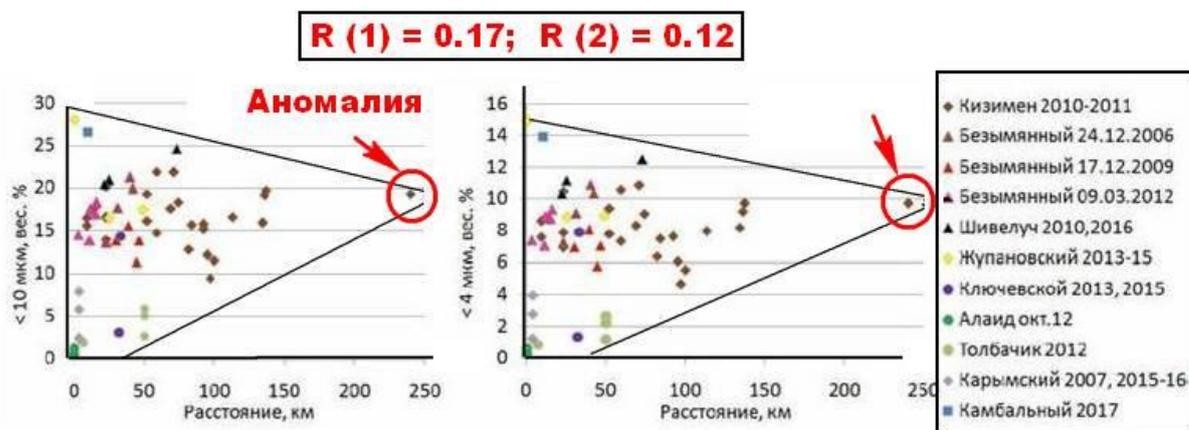
разноса до 0.55 на интервале 75–250 км). Что касается, преимущественно андезитовых пеплов с изначально высокими значениями УП, то они в интервале разноса до 75 км тоже подвергаются некоторой гранулометрической дифференциации, но гораздо менее интенсивной ( $R = 0.26$ ).



Во-вторых, диссертантка выявила замечательный факт скачкообразного изменения степени гранулометрической неоднородности пылевой фракции в эксплозивных пеплах и пепловых отложениях – тефре (рис. 6). Выясняется, что в непосредственно в эксплозиях пеплы гранулометрически недифференцированы, а в тефре, напротив, весьма дифференцированы, на что указывает значение коэффициента парной корреляции между параметрами «средний размер/сортировка» и «УПП/средний размер» ( $R = 0.71$ ).



В-третьих, диссертантка оценила масштабы разноса экологически вредных фракций в пеплах камчатских вулканов – «торакальной» (4–10 мкм) и «вдыхаемой» (< 4 мкм). Полученные результаты по обеим фракциям практически совпали (рис. 8). Согласно этим результатам разнос фракций регистрируется на дальность до 250 км и при этом практически не коррелируется ни с расстоянием ( $R = 0.12–0.17$ ), ни с петрохимическим составом пеплов.



**Рис. 8.** Содержание опасных для здоровья животных фракций в пеплах камчатских вулканов в зависимости от расстояния от вулкана

Помимо выше отмеченных результатов, диссертантка в рассматриваемом разделе диссертации обсуждает ряд полезных подробностей.

В целом, рассмотренное защищаемое положение мы считаем доказанным. В качестве критических замечаний можно отметить лишь то, что диссертантка совершенно проигнорировала необходимость раскрытия содержания использованных ею «новых» параметров характеристики исследованных пеплов, а именно, «удельная поверхность пепла/средний размер,  $\text{м}^{-2}$ » и «средний размер/сортировка». Об общем смысле этих «новелл» догадаться нетрудно, но надо было все-таки расшифровать. Могут ведь всякие читатели диссертации попасться.

В качестве критического замечания методологического характера мы выдвигаем следующее. Судя по автореферату, диссертантка считает понятия «вулканический пепел» и «тефра» синонимичными: «тефра как типичный продукт эксплозивных извержений», «тефра – фрагменты вулканических пород, переносимых воздушными потоками», «тефра извержений». В действительности, это не совсем так. Продуктом «эксплозивных извержений» являются собственно вулканические пеплы, которые впоследствии именно «переносятся воздушными потоками». А вот тефра – это пепловые осадки, иногда образующие осадочные толщи большой мощности. Конечно, тефра имеет первоисточником продукты эксплозий, но одновременно она и реализует в своем составе и свойства законы специфичного осадкообразования. Следует отметить, что кое-где в своем автореферате сама диссертантка эту важную особенность тефры продемонстрировала.

Результаты своих исследований Н. А. Малик замечательно апробировала, опубликовав 17 статей в качественных научных журналах, специализирующихся в теме вулканизма: «Вулканология и сейсмология», «Вестник КРАУНЦ», «Journal Volcanology and geothermal Research».

Подводя итог, мы приходим к общему заключению о том, что выдвинутая на защиту диссертация «*Пеплы извержений вулканов Камчатки (2006–2013 гг.): состав, масса и водорастворимый комплекс*» соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по специальности 25.00.04–петрология, вулканология, а ее

автор – **Малик Наталья Александровна** – вполне заслуживает присвоения ученой степени кандидата геолого-минералогических наук.

Главный научный сотрудник Института геологии  
Коми НЦ УрО РАН, лаб. петрографии, д. г.- м. н.  
09.04.2019

**Валерий Иванович Силаев**

Старший научный сотрудник Института геологии  
Коми НЦ УрО РАН, лаб. экспериментальной минералогии,  
к. г.- м. н.  
09.04.2019

**Александр Евгеньевич Сухарев**

Научный сотрудник Института геологии  
Коми НЦ УрО РАН, лаб. петрографии, к. г.- м. н.  
09.04.2019

**Антон Фёдорович Хазов**

Институт геологии имени академика Н. П. Юшкина Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук»

167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54  
sukharev@geo.komisc.ru  
8(8212) 24-09-70

