

1.2. Отложения тефры

Тефра - наиболее типичный продукт эксплозий всех вулканов. С.Тораринсон предложил этот термин для обозначения всех обломочных образований, имеющих признаки воздушной транспортировки из кратера [143].

Сегодня, в связи с накоплением информации по извержениям вулканов, назрела необходимость уточнить этот термин. По мнению автора, тефрой следует называть отложения, формирование которых происходит из нижних частей поднимающейся над кратером вулкана вертикальной эруптивной колонны и из пепловой тучи, трансформированной из этой колонны.

По размерам частиц тефра подразделяется на бомбы (глыбы), лапилли и вулканический пепел [74, 75, 120 и др.].

Бомбами (глыбами) (размером 50 мм и более) называют: 1) фрагменты пластичной лавы, которая до падения на землю приобрела в полете определенную форму и твердую корку с поверхности [72,74]; 2) обломки, выброшенные в твердом состоянии - крупные блоки более древних пород, сорванные эруптивной колонной со стенок выводного канала; продукты разрушения лавовой пробки, перекрывавшей жерло перед извержением вулкана и прочее, даже если они и были повторно нагреты магмой или газом. В зависимости от массы "обрывка" лавы и первоначального импульса движения, форма бомб разнообразна: от округлых, уплощенных до совершенных веретенообразных (длиной в первые десятки см), лепешек с характерной поверхностью типа "хлебной корки", слегка вытянутых шаров (размером более 100 см) и т.д.

Небольшие обломки размером 2-50 мм носят название *лапилли*. Встречаются лапилли с четкой формой и "закалкой" поверхности, мелкие бесформенные, угловатые обломки свежих и захваченных чуждых пород [74].

Особым видом лапиллей являются аккреционные лапилли - шарообразные тела слабосцементированного пепла размером порядка 0,5 см, хотя встречаются похожие образования размером до 5-10 см, как, например, на захороненном отложениями вулкана Безымянный извержения 1985 г. снежнике. Центрами аккреции для лапиллей могут быть дождевые капли, мелкие обломки пород и т.д. Например, лапилли первой разновидности отмечались при извержении вулкана Безымянный в 1985 г., второй - на вулкане Шивелуч в древних отложениях пирокластики (рис. 4). Многообразие видов аккреционных лапиллей и причины их возникновения рассмотрены в работах [120, 121, 133, 134 и др.].

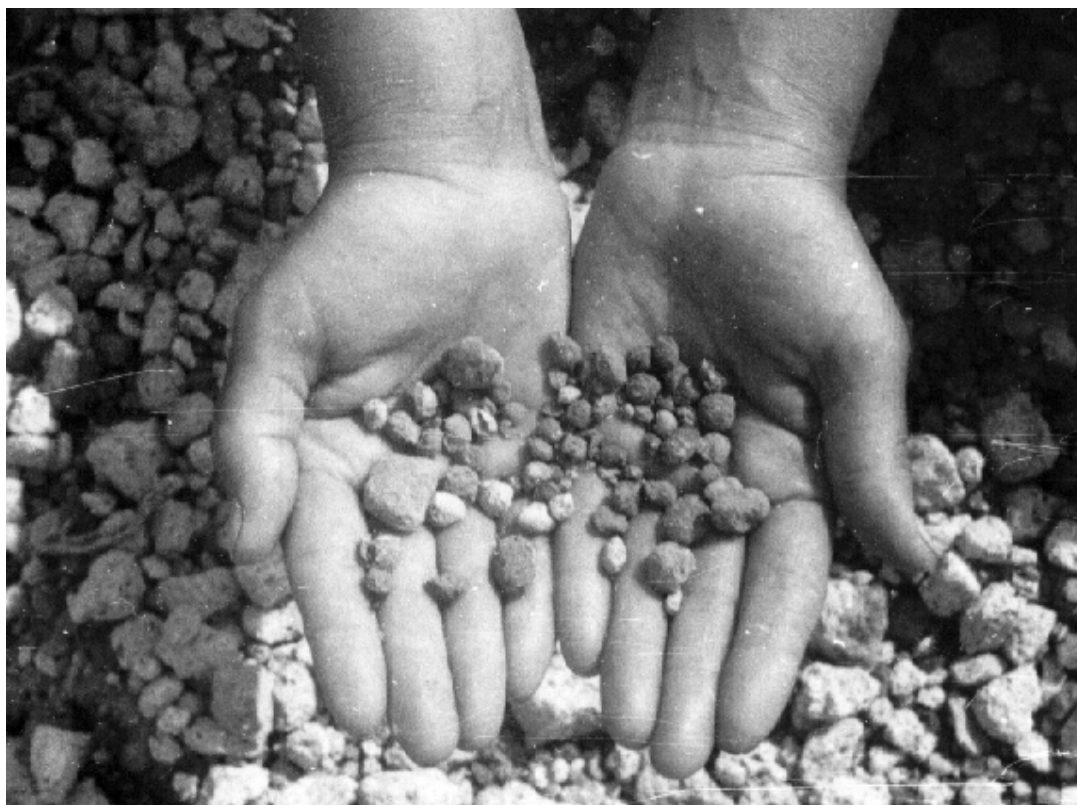


Рис. 4. Аккреционные лапилли в отложениях вулк. Шивелуч.

К **вулканическим пеплам** относятся частицы пирокластики размером менее 2 мм [72,120]. Частицы пеплов состоят из кристаллов минералов, их сростков, вулканического стекла, мелких обломков пород, сорванных с канала и купола вулкана. В зависимости от состава пород вулкана и типа его извержения, пеплы могут состоять в основном или нацело из обрывков раскаленной магмы (ювенильный пепел), из смеси ювенильного и старого (резургентного) материала, только из резургентных обломков [23, 72, 79, 98, 120 и др.].

Образование тефры, в общих чертах, состоит в следующем. В результате эксплозий над кратером вулкана формируется эруптивная колонна, которая в верхней своей части превращается в эруптивную тучу. Высота, диаметр эруптивной колонны зависят от первоначального импульса движения, от состава поступающего вещества, его расхода, т.е. связаны с эндогенными процессами; распространение эруптивной тучи целиком подвластно атмосфере - зависит от ее стратификации, направления и силы ветра, влажности и т.д., т.е. - от экзогенных факторов.

Вблизи вулкана выпадает грубая тефра, на далеких от него расстояниях (до сотен и тысяч километров) тефра постепенно становится тонкозернистой. По мере удаления от вулкана кроме гранулометрического, изменяется также минеральный состав пеплов, что объясняется эоловой гравитационной дифференциацией материала [43, 47].

При сильных извержениях вулканов, особенно андезитово-дацитовых, на сотни и тысячи километров от вулкана происходит отложение больших по

мощности слоев пеплов, которые впоследствии становятся маркирующими горизонтами, служащими стратиграфическими реперами при изучении осадочных толщ, так как образование их на всей площади происходит почти одновременно и в короткие сроки (от часов до нескольких месяцев). С помощью тефрохронологии, например, восстановлена история развития примерно 10 вулканов Камчатки [14-17 и др.].

Наиболее тонкие (размером в десятки микрон и менее) фракции пеплов при сильных плинианских извержениях вулканов достигают верхних слоев атмосферы и переносятся в стратосфере на большие расстояния [72]. Например, считается, что пепел вулкана Кракатау извержения 1883 г. три раза обогнул Землю, прежде чем выпал на поверхность земли. Атмосферные явления, вызванные извержением вулкана Кракатау, сохранялись в течение более чем 5 лет, вулкана Агунг - три года [72]. Тонкие пеплы обладают высокой адсорбционной способностью [5,6,20,44], и в стратосферу попадают уже, по сути, аэрозоли - твердые частицы с адсорбированными ионами газов и паров воды в воздушной среде. Вынос большого количества тонких пеплов в стратосферу уменьшает солнечную радиацию, и в прошлом, по мнению некоторых ученых, стал причиной похолоданий климата и оледенений Земли [5, 20, 82, 114 и др.]. По данным исследований вулканических аэрозолей (например, извержения вулкана Эль-Чичон [136]) был сделан прогноз развития "ядерной зимы" на Земле, так как пылевой аэрозоль, возникающий при ядерных взрывах, сходен с аэрозолями вулканов [5,20].

По дальности распространения от центра извержения и высоте выбросов тефры, даются оценки силы и энергии эксплозивного извержения [44]. Выяснено, что вещественный состав тефры обуславливает приуроченность ее определенным энергетическим классам эксплозивных извержений вулканов. Например, эксплозивные извержения, дающие пеплы базальтового состава, не отмечены выше 12-го энергетического класса, андезитового состава - встречены в пределах 3-го - 14-го классов, дацитового - в пределах 5-го - 16-го классов. Глобальный разнос тефры, попадающей в слои тропопаузы, отмечен от 11,5 и выше энергетического класса [44].

О тефре андезитовых вулканов Камчатки опубликованы многочисленные работы, в которых даны ее морфологические описания, приведены составы (химический, изотопный, минеральный, гранулометрический и др.), содержания в ней редких элементов и т.д. [8, 14-17, 34, 43, 44, 61, 62 и др.].

Ниже приведены некоторые особенности состава и свойств тефры вулканов Безымянный и Шивелуч.

Химический и минеральный состав отложений

Химический состав тефры на удалении от вулкана Безымянный приведен в табл. 1. Как легко заметить, содержание кремнекислоты в ней значительно большее, чем в андезитовых лавах или заполнителях других типов пирокластических отложений. Химические анализы тефры, взятой вблизи

вулкана, наилучшим образом отражают состав первичных продуктов извержения. По мере удаления от вулкана состав пеплов существенно изменяется [62], что объясняется эоловой гравитационной дифференциацией материала [43, 47, 61].

Частицы пеплов представляют собой обломки кристаллов минералов плагиоклаза, пироксена, роговой обманки, их сростков, вулканического стекла, андезитовых лав.

Таблица 1

**ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПРОДУКТОВ ВУЛК. БЕЗЫМЯННЫЙ
ИЗВЕРЖЕНИЙ 1984-1989 гг.**

| Компонент | Лава (36) | Заполнители потоков (16) | Заполнитель волн (12) | Пеплы облаков потоков (10) | Тефра (9) |
|--------------------------------|-----------|--------------------------|-----------------------|----------------------------|-----------|
| SiO ₂ | 56,60 | 56,68 | 57,43 | 60,60 | 61,63 |
| TiO ₂ | 0,76 | 0,80 | 0,78 | 0,56 | 0,55 |
| Al ₂ O ₃ | 18,28 | 18,40 | 18,25 | 17,87 | 17,81 |
| Fe ₂ O ₃ | 3,01 | 3,53 | 3,67 | 3,48 | 3,32 |
| FeO | 4,43 | 3,89 | 3,55 | 2,27 | 2,12 |
| MnO | 0,10 | 0,14 | 0,13 | 0,11 | 0,11 |
| MgO | 3,96 | 4,01 | 4,16 | 2,88 | 2,41 |
| CaO | 7,62 | 7,68 | 7,03 | 6,36 | 6,41 |
| Na ₂ O | 3,27 | 3,31 | 3,17 | 3,56 | 3,47 |
| K ₂ O | 1,24 | 1,24 | 1,28 | 1,64 | 1,64 |
| H ₂ O ⁻ | 0,25 | 0,16 | 0,18 | 0,17 | 0,21 |
| H ₂ O ⁺ | 0,18 | 0,11 | 0,21 | 0,06 | 0,33 |
| P ₂ O ₅ | 0,22 | 0,13 | 0,16 | 0,16 | 0,20 |
| Сумма | 99,92 | 100,08 | 100,00 | 99,72 | 100,21 |

Примечание. Анализы пород выполнены в ЦХЛ ИВ ДВО РАН, Камчатка.
В скобках - количество образцов.

Минеральный состав пеплов показывает значительное содержание плагиоклаза и вулканического стекла. Например, в тефре кульминационных стадий катастрофических извержений вулканов Безымянный в 1956 г. и Шивелуч в 1964 г. доля плагиоклаза достигала 42 и 30 %, а вулканического стекла - 15 и 48 %, соответственно [9]. Различия в минеральном составе тефры этих вулканов достаточно детально показаны в работах [9,14 и др.]. Там же отмечены особенности пеплов двух вулканов, позволяющие различать их в разрезах: "1) для всех пеплов Шивелуча характерно резкое преобладание вулканического стекла над плагиоклазами, в то время как в пеплах Безымянного они содержатся примерно в равных количествах, 2) в пеплах вулкана Шивелуч количество обломков пород обычно не превышает 8 %, в пеплах Безымянного - 16-40 %" [14, стр.48].

Структурно-текстурные особенности тефры

Как указывалось выше, тефра при отложении из эруптивной тучи образует сплошной покров, мощность которого максимальна по оси распространения пепловой тучи, а по краям эллипса отложений она постепенно выклинивается. Тефра одного извержения вулкана может быть однородна, но может состоять из нескольких прослоев различной крупности (например, пеплы вулкана Шивелуч извержений 1000 и 1500 лет тому назад [16] или тефра вулкана Безымянный извержения 1984 г., отложившаяся на сейсмостанции (с/с) "Апахончич") (рис. 5).

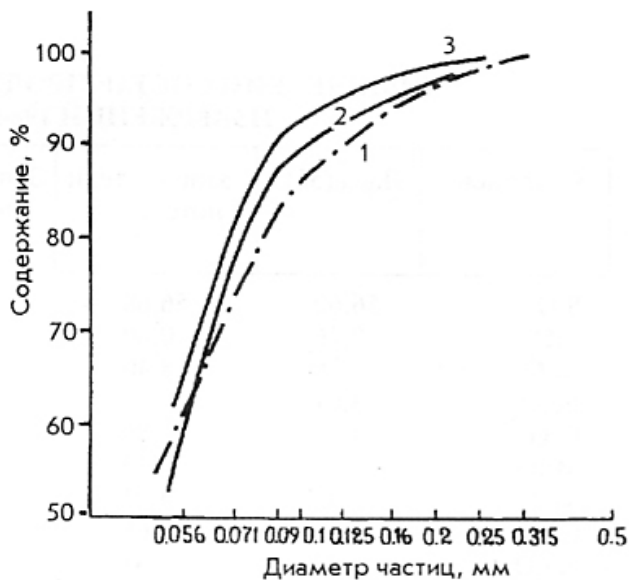
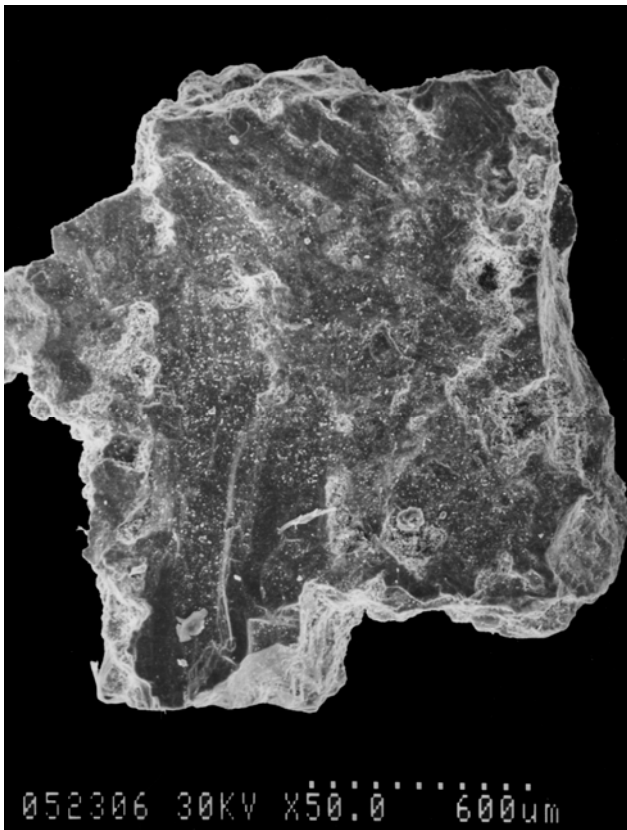


Рис. 5. Кумулятивные кривые гранулометрического состава тефры вулк. Безымянный, отложившейся на сейсмостанции Апахончич 13 окт. 1984 г. Слои отложений: 1- средний, 2- нижний, 3- верхний.

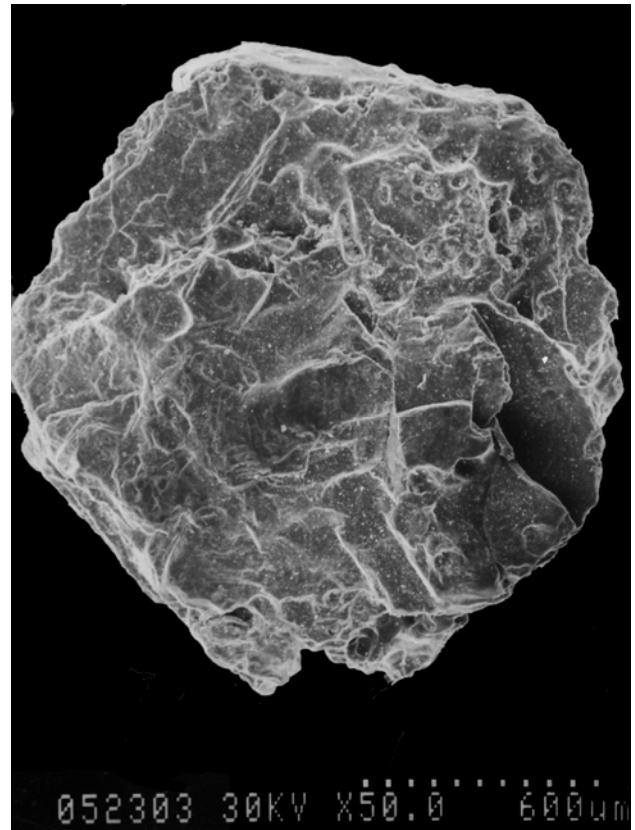
В прослоях пеплов наблюдаются структуры погружения обломков с изгибами облегающих их слоев, что свидетельствует о весьма малой плотности выпавших пеплов.

Как было указано выше, частицы пеплов состоят из вулканического стекла, обломков кристаллов минералов, их сростков, обломков андезитовых лав.

Фотографии некоторых из частиц тефры вулкана Безымянный извержения 1984 г., отложившейся на с/с Апахончич и в г. Ключи показаны на рис. 6.



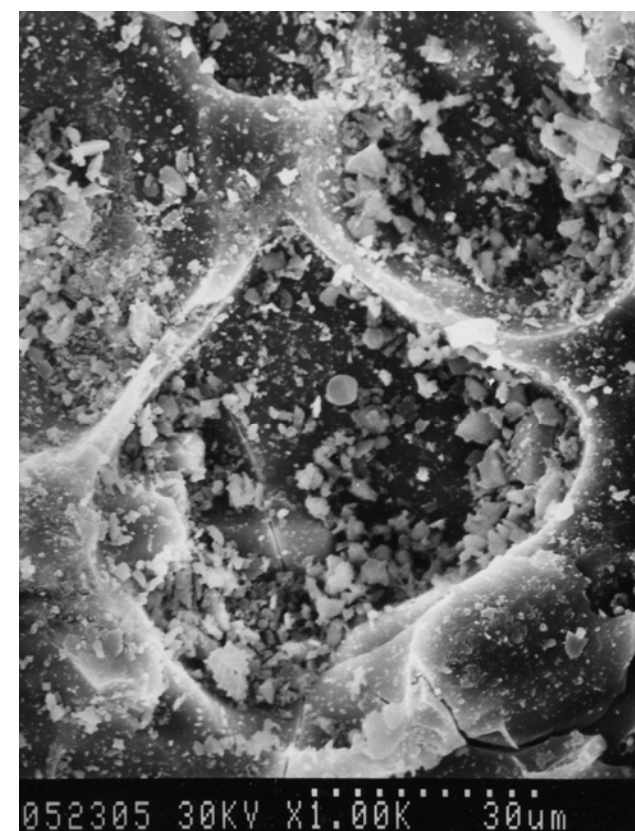
а



б

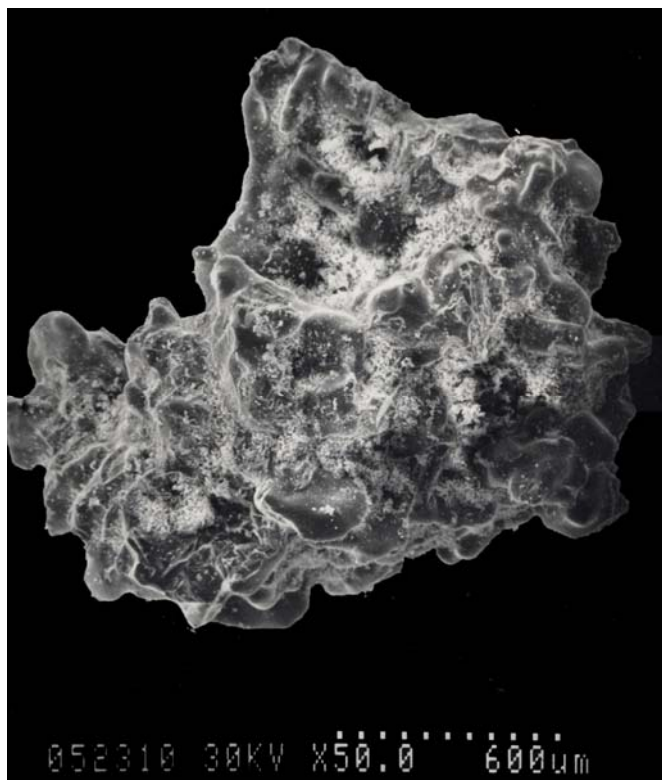


в



г

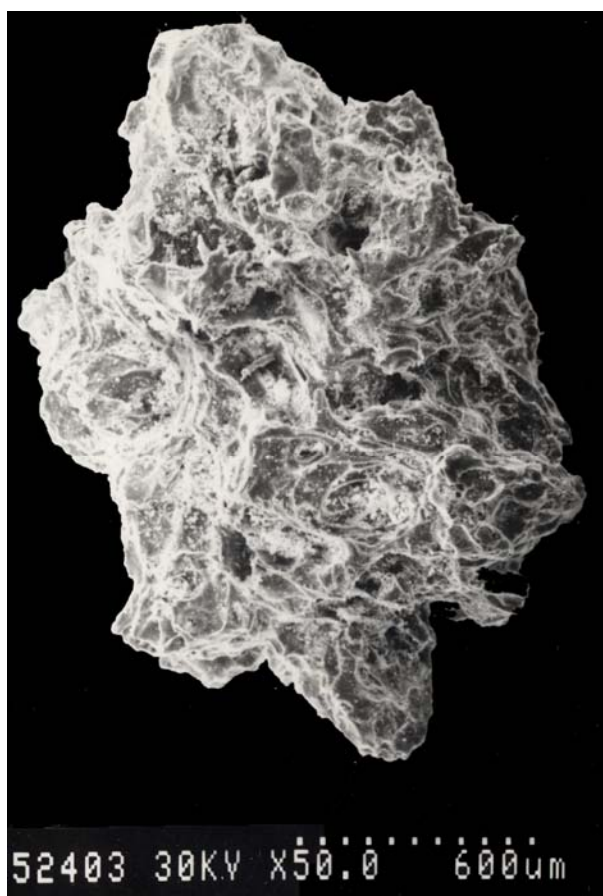
Рис. 6. Частицы тефры вулк. Безымянный: плагиоклаз при увеличении 50 (а); плагиоклаз с примазками вулканического стекла при увеличениях 50 (б), 300 (в), 1000 (г); сросток плагиоклаза и пироксена в "рубашке" вулканического стекла при увеличениях 50 (д) и 300 (е); плагиоклаз при увеличениях 50 (ж), 300 (з), 1000 (и); сrostки плагиоклаза, пироксена, вулканического стекла при увеличениях 200 (к) и 1000 (л).



д



е



ж

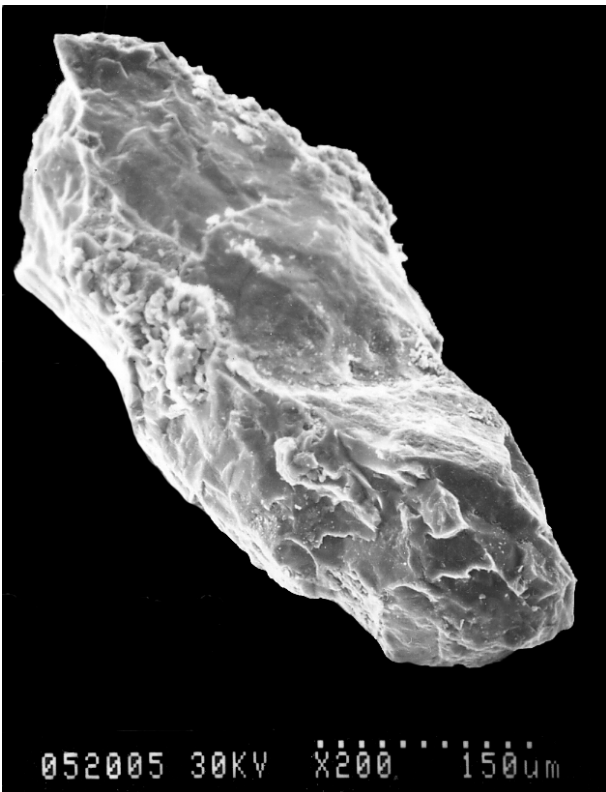


з

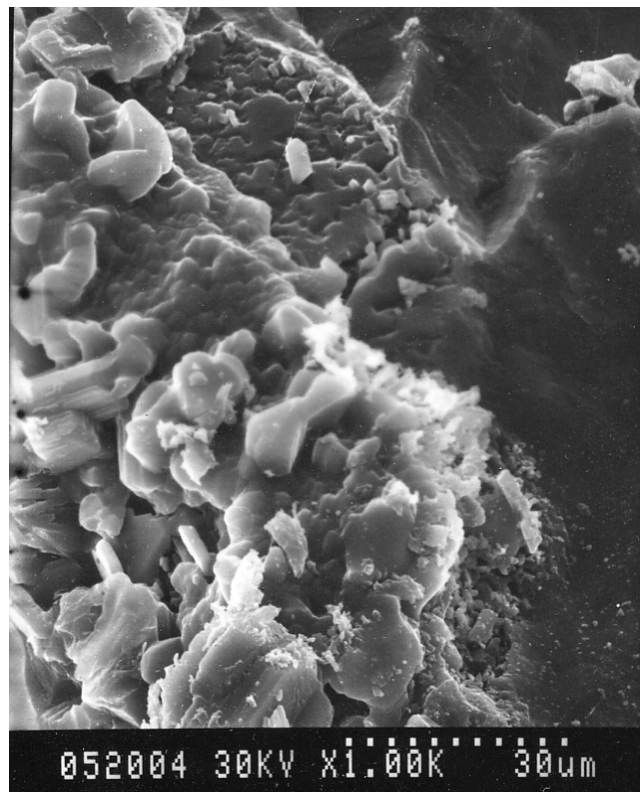
Продолжение *рис. 6*



И



К



Л

Продолжение рис. 6

Встречаются частицы слабоэродированные (например, обломок плагиоклаза, рис. 6 а); среднеэродированные (например, обломок плагиоклаза, покрытый вулканическим стеклом, на котором образовались многочисленные ячейки, заполненные тонкими частицами пеплов; или сростки плагиоклаза и пироксена в "рубашках" стекла, рис. 6 б-е). Наиболее интересны пемзовидные частицы плагиоклаза (рис. 6 ж-и). Их поверхность глубокоэродирована - наряду с отдельными ячейками, ямками, тонкими перегородками и т.д. частица в целом имеет флюидальную текстуру. Эродированность связана, вероятно, со столкновением частиц и воздействием их друг на друга в эруптивной колонне и туче, с автоэксплозивностью частиц и другими процессами.

Встречаются также сростки минералов (например, пироксена, плагиоклаза и стекла), участки поверхности которых локально "изъедены": возможно, примазки вулканического стекла подверглись химической эрозии (рис. 6 к-л).

Для изучения микростроения образцов тефры вулканов в их естественном залегании были отобраны и запарафинированы монолиты ненарушенного строения пеплов из опорного разреза г. Ключи и из разреза в береговом обрыве р. Камчатка у п. Козыревск.

Микростроение образцов ненарушенного строения тефры вулкана Шивелуч изучалось на сканирующем электронном микроскопе Кафедры Инженерной геологии и охраны геологической среды Геологического факультета МГУ. Были просмотрены поверхности свежих сколов образцов пеплов и отсняты с них 27 фотографий при увеличениях 100 - 10 000.

Когда автор исследовал опорный разрез в г. Ключи, большая часть серых и светло-серых пеплов разреза считалась принадлежащей вулкану Шивелуч. Была изучена тонкая часть двуслойных пеплов Ш₂, Ш₃ и пепел Ш₆ извержений 1000, 1400-1500 и 7500 лет назад (обозначения были приняты по работам [16, 61]).

В пеплах наблюдались агрегаты частиц сфероидальной формы. Агрегированности пеплов есть несколько объяснений. Пепловые частицы - кристаллы минералов, их сростки, тонкие частицы вулканического стекла - в пирокластической колонне и затем в эруптивной туче в кульминационные стадии извержений вулканов электризуются и вследствие этого слипаются, образуя агрегаты пепловых частиц [120]. К тому же, частицы стекла насыщены тонкорассеянными рудными минералами, в основном, магнетитом, благодаря чему пеплы приобретают магнитные свойства, что так же способствует агрегированности пепловых частиц. При повышенной влажности атмосферы капли или ионы воды могут служить центрами аккреции и уже в эруптивной туче могут формироваться агрегаты, аккреционные лапилли пеплов [122]. Вследствие этого тефра имеет достаточно рыхлое сложение в ненарушенном состоянии - 0.89 - 1.06 г/см³ и повышенную пористость отложений (табл. 2).

**ХАРАКТЕРИСТИКА ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ОБРАЗЦОВ
НЕНАРУШЕННОГО СТРОЕНИЯ ТЕФРЫ ВУЛКАНОВ ШИВЕЛУЧ И ХАНГАР**

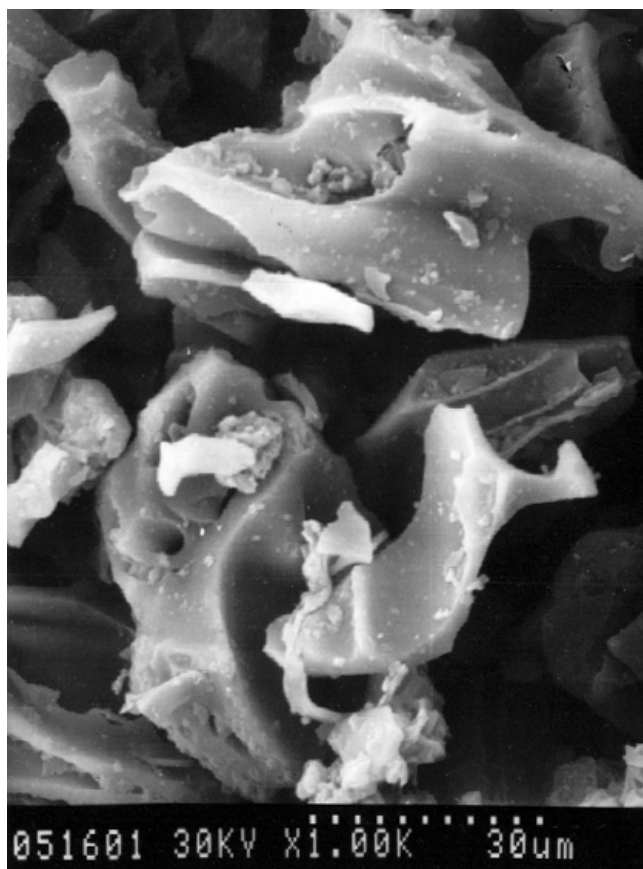
| Названия характеристик | Шивелуч | Хангар | Шивелуч | Хангар |
|---------------------------------------|------------------------------------|------------|-------------|-----------|
| | Увеличение (элемент дискретизации) | | | |
| | 200 (3,34) | | 1000 (0,68) | |
| Пористость, % | | | | |
| общая | 32,9 | 42,3 | 36,5 | 36,9 |
| внутриагрегатная | | 22,5 | | |
| межагрегатная | | 19,8 | | |
| Общая площадь пор, мкм ² | 3889578,65 | 5004897,59 | 172534,97 | 174749,66 |
| Общий периметр пор, мкм | 142133,44 | 120892,55 | 15571,99 | 15937,33 |
| Количество пор, единица | 231 | 194 | 66 | 86 |
| Из них связанных, % | 24,2 | 18,5 | 30,3 | 24,4 |
| Средний диаметр пор, мкм | 15,35 | | 5,45 | 4,67 |
| внутриагрегатных | | 9,26 | | |
| межагрегатных | | 63,74 | | |
| Средняя площадь пор, мкм ² | 185,22 | | 23,35 | 17,17 |
| внутриагрегатных | | 67,39 | | |
| межагрегатных | | 3191,90 | | |
| Средний периметр поры, мкм | 62,47 | | 23,08 | 19,02 |
| внутриагрегатных | | 36,79 | | |
| межагрегатных | | 253,20 | | |



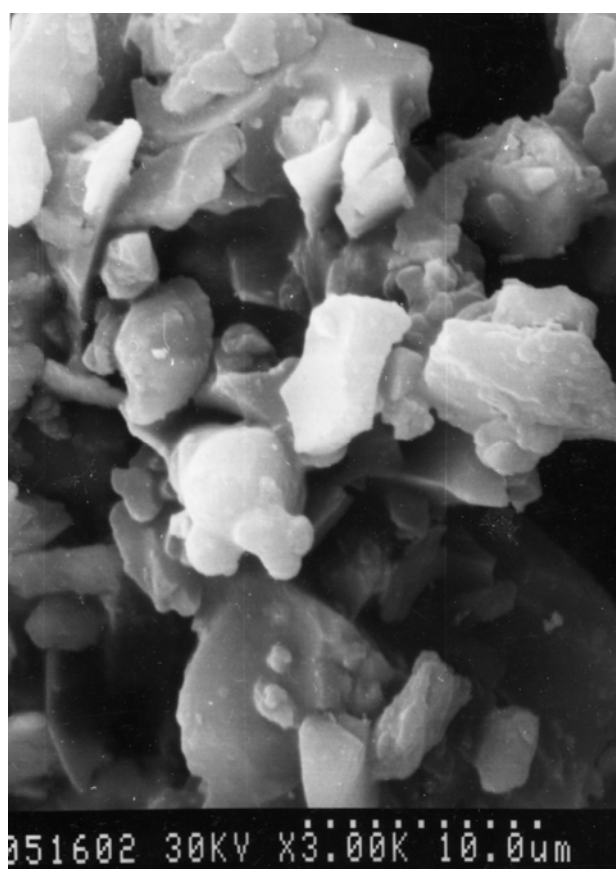
а



б

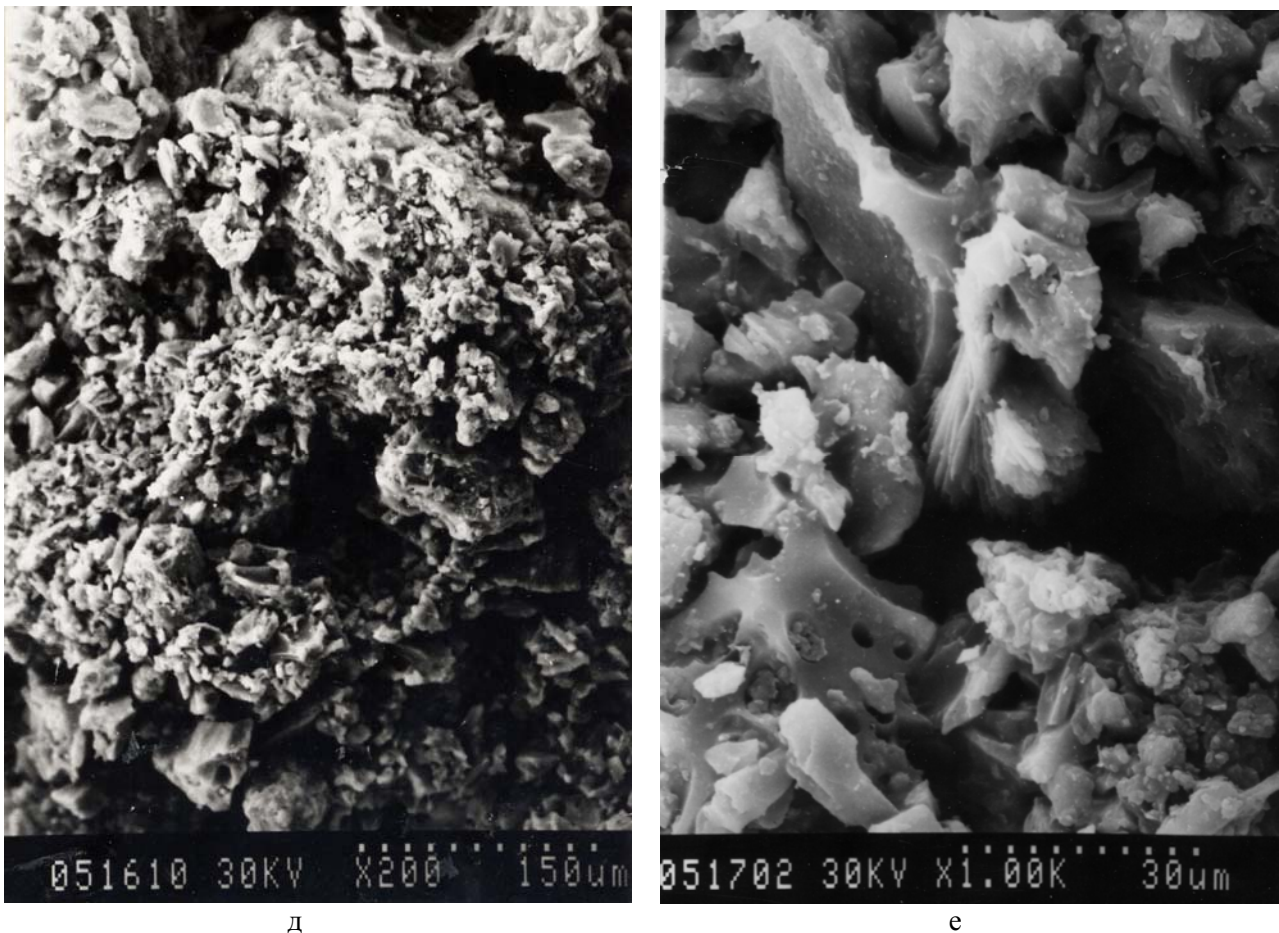


в



г

Рис. 7. Микрофотографии поверхности сколов образцов ненарушенного строения тефры вулканов Шивелуч и Хангар из опорного разреза в г. Ключи: Ш₂ при увеличениях 200 (а) и 1000 (б); Ш₃ при увеличениях 1000 (в) и 3000 (г); ХГ при увеличениях 200 (д) и 1000 (е). Описание в тексте.



д

е

Продолжение *рис. 7*

Впоследствии выяснилось [15, стр. 8], что пепел Ш₆ является тонкой тефрой вулкана Хангар (ХГ).

Так как пеплы Ш₂, Ш₃ и ХГ между собой имеют много общего, в отличие, например, от пеплов вулкана Безымянный, от которых резко отличаются, автор счел возможным показать в этой работе сходство и различия микростроения пеплов Ш₂ и ХГ.

Для образцов Ш₂ и ХГ были определены количественные характеристики порового пространства при увеличениях 200 и 1000 (рис. 7, табл. 2).

Одной из важных характеристик дисперсных пород являются структурные связи, существующие между их структурными элементами [42, 85]. Между частицами пеплов и их агрегатами действуют, в основном, структурные связи физической и физико-химической природы: электростатические, ионно-электростатические, молекулярные, магнитные, капиллярные [34].

Микроскопическое изучение тефры выявило ряд ее особенностей. При увеличении в 200 раз видно, что тефра Ш₂ состоит из сравнительно однородных чешуйчатых частиц (cuspsate shards [120]) (рис. 7 а). Тефра Ш₃ и ХГ наряду с мелкочешуйчатыми, содержит также крупные зерна (например, 15x30 мкм) минералов, пористые и высокопористые частицы (pumice shards [120]), остатки разрушенных крупных пузырей диаметром до 15 мкм и другие (рис. 7 в-е). При

этом увеличении отмечаются также небольшие прослой более тонкого материала в образцах пеплов мощностью до 40 мкм, в которых частицы лежат более плотно, чем выше- и нижележащие. В тефре ХГ при этом увеличении хорошо видна агрегированность материала, что также подтверждается количественным анализом порового пространства этого участка (рис. 7 д, табл. 2).

При более крупных увеличениях в тефре вулканов отчетливо выделяются изометричные микроагрегаты частиц, например, размером 55x55 мкм, наряду с монолитными обломками изометричной и удлиненной формы размером 4x2, 9x5, 8x3, 60x42, 75x60 мкм и др., встречаются вогнуто-выпуклые частицы длиной до 50 мкм, частицы, имеющие на поверхности удлиненные бороздки шириной 2 мкм или строение и вид гребешка или оперения хвоста птицы и т.д. (рис. 7 а-е).

Наибольший интерес представляет обнаружение в пеплах Ш₂ в разрезе берегового откоса р. Камчатка у п. Козыревск полых шариков вулканического стекла размером 3 мкм с толщиной стенок шарика 0.3 мкм (рис. 8) [34].

Для изученных пеплов характерна скелетная микроструктура, отличающаяся неравномерным распределением сравнимых по размерам частиц породы.

Контакты между структурными элементами пеплов в основном, вероятно, переходного типа.

Пористость является одной из важнейших структурно-текстурных характеристик отложений [42, 70, 85]. При увеличении 200 тефра Ш₂ представляет собой в целом однородный по размерам частиц массив, в отличие от ХГ, где четко выражены агрегаты пепловых частиц и крупные поры между ними (рис. 8 а, д). В тефре Ш₂ преобладают поры размером 13.75 - 55.0 мкм (56 %), в ХГ - поры размером от 55.0 до 110.0 мкм (30 %) и от 6.87 до 13.75 мкм (21 %), (рис. 9). Общая площадь и периметр пор образцов тефры Шивелуча и Хангара одного порядка.

При увеличении 1000 различия в микростроении образцов тефры сглаживаются. В пеплах Ш₂ и ХГ резко преобладают поры размером от 11.0 до 22.0 мкм (42 и 31 %, соответственно). В целом, общие площадь и периметр пор, а также общая пористость образцов тефры Шивелуча и Хангара практически одинаковы (табл. 2).

Коэффициент формы пор показывает степень их изометричности, то есть степень приближения к идеальной круглой поре, коэффициент формы которой равен единице [42]. Поры пеплов Шивелуча и Хангара далеки от идеала, то есть только часть их имеет круглую, вернее шарообразную форму, большее же количество пор - удлиненные или бесформенные.

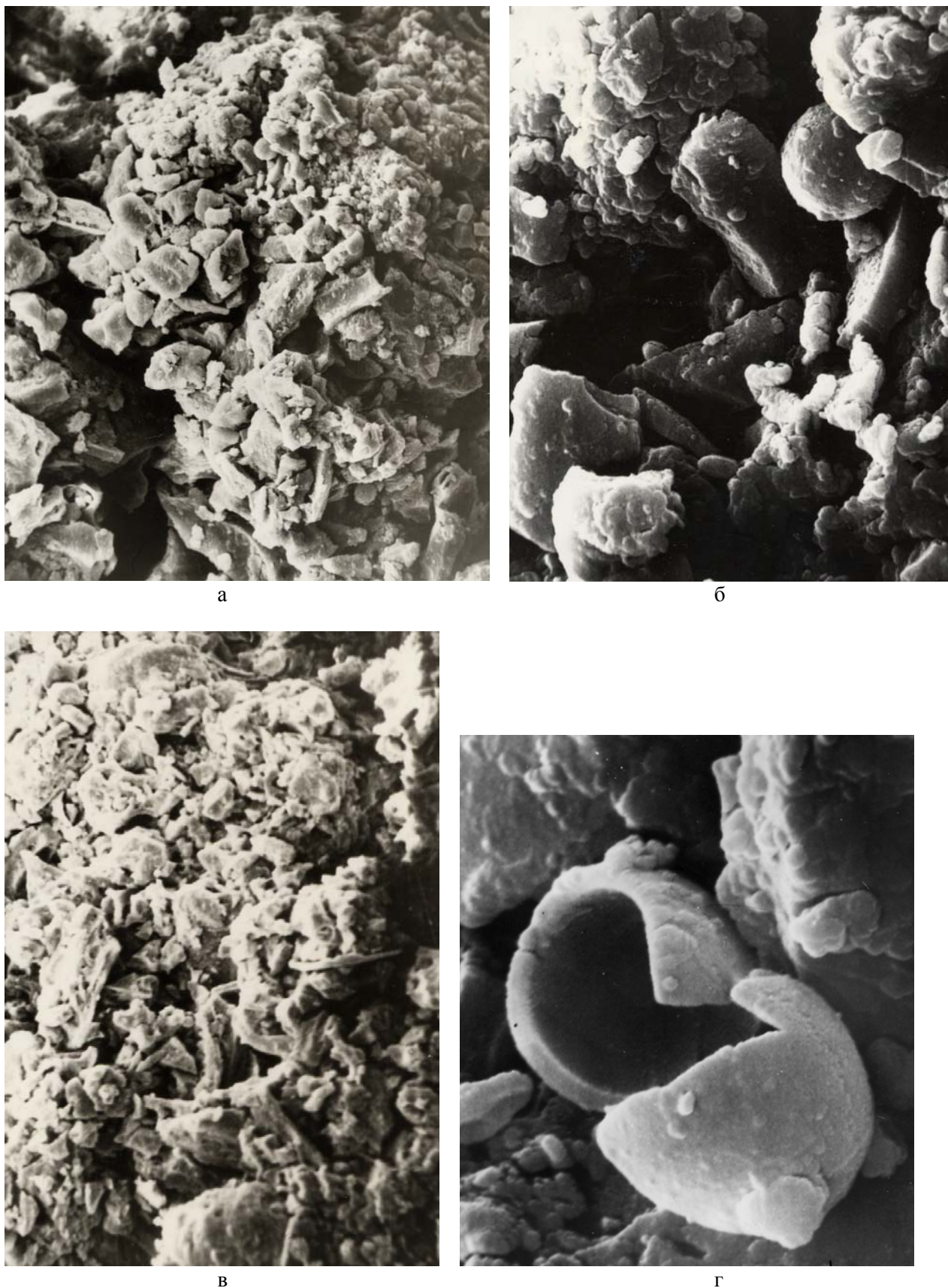


Рис. 8. Микрофотографии поверхности скола образцов ненарушенного строения тефры вулкана Шивелуч ($Ш_2$) из разреза в береговом обрыве р. Камчатка у п.Козыревск: агрегат пепловых частиц и шарик вулканического стекла в нем при увеличениях 1000 (а) и 5000 (б); пепловые частицы и среди них - полый шарик вулканического стекла, разрушенный при механическом воздействии, при увеличениях 1000 (в) и 10 000 (г).

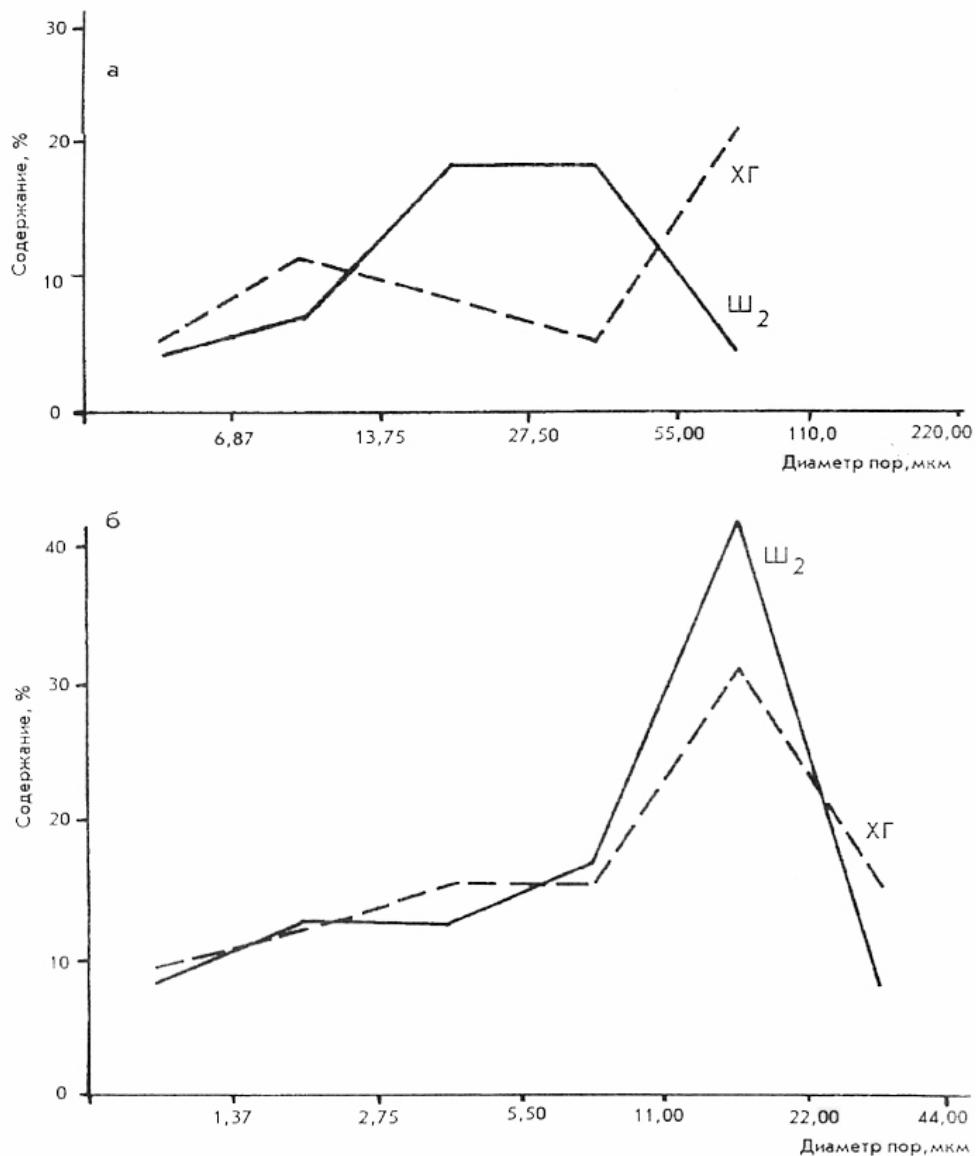


Рис. 9. Кривые распределения пор разного диаметра в образцах ненарушенного строения тефры вулканов Шивелуч (Ш₂) и Хангар (ХГ) при увеличениях 200 (а) и 1000 (б).

Гранулометрический состав тефры

Гранулометрический состав является одной из важнейших характеристик обломочных горных пород. Многие авторы писали о целях выполнения этого анализа и сферах его использования [42, 48, 49, 61, 69, 70, 85, 88, 92, 96, 100, 101, 107, 109 и др.]. Однако сегодня гранулометрический состав, оставаясь важной характеристикой породы, начинает использоваться как одна из составных частей комплексного ее изучения.

Итогом исследования состава породы является нахождение ее места в классификации [85]. Если в литологии классификации рыхлых пород строятся на метрической основе, то инженерно-геологические - на учете физико-

механических особенностей отложений, рассматриваемых как функция гранулометрического состава [69]. Для сравнения вулканогенных грунтов между собой автор использовал классификацию крупнообломочных и песчаных грунтов (СНиП II-15-74) [42].

Тефра вулкана Безымянный относится к грубым пеплам вблизи вулкана и тонким - вдали от него. В составе ее преобладают тонкие частицы (фракции менее 0.056 мм), доли частиц других размеров (менее 0.125 мм) могут достигать 25-30 % [61, 62].

Физические свойства отложений

Физические свойства пирокластических отложений определялись по стандартным методикам [42, 109].

Влажность пеплов вулкана Шивелуч небольшая - до 7 %.

Плотность твердой фазы тефры вулкана Безымянный изменяется от 2.70- 2.72 г/см³ возле купола до 2.62 г/см³ в 30 км от вулкана [30]. Известно, что плотность твердой компоненты породы зависит только от ее минерального состава и с возрастанием количества тяжелых минералов увеличивается [42]. Уменьшение плотности тефры по мере удаления ее от вулкана связано с обогащением ее вулканическим стеклом в процессе эоловой гравитационной дифференциации пеплов, что неоднократно было показано в работах [43, 44, 47, 61, 62 и др.].

Плотность твердой фазы тефры вулкана Шивелуч равна 2.70- 2.75 г/см³.

Плотность тефры вулкана Шивелуч в ее естественном сложении - 0.89- 1.06 г/см³. Плотность тефры вулкана Безымянный (извержений 1984-1989) в рыхлом сложении варьирует в пределах 0.87-1.10) г/см³, в среднем - 0.98 г/см³ (20), в плотном - 1.24 - 1.51 г/см³, составляя в среднем - 1.40 г/см³ (20) [30]. Коэффициент уплотняемости равен, в среднем, 1.11 (по двум образцам).

Пористость тефры вулкана Безымянный в рыхлом состоянии изменяется от 59 до 68 %, составляя в среднем 64 % (20), в плотном - от 44 до 54 %, в среднем - 48 % (20)[30].

Физико-механические свойства тефры

Среди физико-механических свойств дисперсных пород главное место занимают их прочностные и деформационные характеристики [42, 85, 107].

В целом, определение деформационных свойств пирокластики вулканов Камчатки проводилось на компрессионном приборе с диаметром кольца 8.72 и высотой 2.9 см. Испытывался грунт нарушенного строения с исключением частиц диаметром более 2 мм с плотностью породы, близкой к естественной. Испытания образцов проводились при пяти нагрузках. Давление на образец с каждой ступенью возрастало на 1 кг/см². По результатам испытаний рассчитывался коэффициент сжимаемости и модуль общей деформации отложений.

Прочностные свойства пирокластики определялись двумя способами: на сдвиговом приборе конструкции ЦНИИ МПС и на стабилометре "Geonog" конструкции Норвежского геотехнического института, к которому подключена микропроцессорная система автоматизации опытов по трехосному сжатию грунтов [103]. Испытывался грунт нарушенного строения приблизительно естественной плотности без частиц диаметром более 2 мм. Каждая проба испытывалась на сдвиг при трех давлениях.

Модуль общей деформации пеплов вулкана Шивелуч изменяется от 2.70 до 4.4 МПа. Небольшие величины модуля обусловлены, в основном, структурой частиц и плотностью тефры в нарушенном ее сложении.

Прочностные характеристики маловлажных пеплов похожи на таковые песков: сцепление имеет значения 0 - 0.02 МПа, угол внутреннего трения - 33-38 град.

Несмотря на отсутствие глинистых минералов в составе пеплов, они обладают **пластичностью**. Нижний предел пластичности пеплов вулкана Шивелуч в районе Козыревска равен 13 %, верхний - 20 %. По числу пластичности - 7 - пеплы относятся к супесям. По консистенции - к супесям твердым. Пластические свойства пеплов вызваны, вероятно, скелетной структурой грунта, наличием большого количества тонкого вулканического стекла.

ВЫВОДЫ

1. Вблизи вулкана состав тефры наилучшим образом отражает состав первичных продуктов извержений. По мере удаления от центра извержения состав тефры существенно изменяется в связи с процессами эоловой гравитационной дифференциации.

2. Частицы пеплов вулкана Безымянный изометричной формы, количество обломков пород в них достигает 40 % [9]. Частицы тефры вулкана Шивелуч удлиненной формы; содержание вулканического стекла в них превалирует - до 48 % , доля обломков не превышает 8 % [9].

3. Сравнение микростроения разных образцов тефры ненарушенного строения лучше проводить при небольших (-100 - 300) увеличениях. При больших увеличениях (1000 и более) различия в микростроении образцов тефры сглаживаются.

4. На микроуровне количественно подтверждена агрегированность частиц тефры, с которой связано уменьшение плотности и повышение пористости ее отложений в естественном залегании.