

УДК 551.21

© 1993 г. О.А. ГИРИНА, Н.А. РУМЯНЦЕВА

## МИКРОСТРОЕНИЕ ТЕФРЫ ВУЛКАНА ШИВЕЛУЧ

Впервые проведено изучение морфологических особенностей микростроения трех образцов ненарушенного сложения маркирующих пепловых горизонтов вулкана Шивелуч. Дан качественный анализ структуры тефры — размер и форма частиц, тип микроструктуры; описаны структурные связи между пепловыми частицами и их агрегатами и т.д. Дан количественный анализ пористости тефры Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>6</sub> при увеличениях 200 и 1000. Впервые в пеплах Ш<sub>2</sub> обнаружены полые шарики вулканического стекла.

MICROSTRUCTURE OF TEPHRA FROM SHIVELUCH VOLCANO, by G i r i n a O.A.\* and R u m y a n t s e v a N.A.\*\* Study is made for the first time on morphological peculiarities of microstructure of three samples from the unbroken marker ash layers of the Shiveluch volcano. In this paper we give the qualitative analysis of tephra structure, i.e. size and shape of particles and type of microstructure, describe structural relationships between deposit components, etc. and make the quantitative analysis of porosity of Sh<sub>2</sub> and Sh<sub>6</sub> tephra at magnification of 200 and 1,000. Hollow globules of volcanic glass were found for the first time in Sh<sub>2</sub> ashes.

(Received June 19, 1992)

\**Institute of Volcanic Geology and Geochemistry, Far East Division, Russian Academy of Sciences, Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006, Russia*

\*\**Lomonosov Moscow State University, Geological Department, Moscow, 119899, Russia*

Шивелуч — самый северный действующий вулкан Камчатки — по объему, массе изверженных пород, скорости выноса вещества и частоте сильных катастрофических извержений является одним из самых уникальных вулканов Курило-Камчатского региона [14]. В голоцене в истории вулкана отмечено не менее 60 крупных извержений [14], в результате семи из них образовались горизонты тефры, прослеживающиеся на многие сотни километров от центра извержения и ставшие маркирующими. Первое их описание дал Б.И. Пийп в 1948 г. [17]. В настоящее время эти пеплы хорошо изучены: дана характеристика их вещественного состава, абсолютный возраст, распространенность каждого из них, с их помощью восстановлена история многих вулканов Камчатки [3—6, 9, 11, 14 и др.]. Маркирующие горизонты пеплов вулкана Шивелуч являются классическим примером тефры катастрофических извержений вулкана андезитодацитового состава. К ним, как к классике, еще не раз будут обращаться исследователи для опробования новых методов изучения пород, возможностей новых приборов и т.д.

Авторами изучены структурные особенности микростроения некоторых известных пеплов вулкана Шивелуч. Для этого были отобраны и запапарафинированы монолиты пеплов ненарушенного строения из опорного разреза в г. Ключи (Ш<sub>2</sub><sup>верх</sup>, Ш<sub>3</sub><sup>верх</sup>, Ш<sub>6</sub>) и из разреза в береговом обрыве пос. Козыревск (Ш<sub>2</sub>). Обозначения приняты по работам [3—6, 11].

Тефра вулкана Шивелуч\*

Индекс по раз- резу, г. Ключи	Мощ- ность, г. Ключи, см	Характеристика пепла	Возраст, лет назад	Химичес- кий состав	Объем, км <sup>3</sup>
Ш <sub>2</sub>	10	Палево-белый тонкий пепел со средне- зернистым песком в основании	1000	Андезито- дацит	1,3
Ш <sub>3</sub>	8	То же	1400–1500	Андезит	1,8
Ш <sub>6</sub>	4	Палево-желтый тонкий пепел	7500	Дациг	1,0

\*Данные приведены по [3, 4].

Таблица 2

Химические анализы тефры вулкана Шивелуч  
из опорного разреза в г. Ключи\*

Индекс пепла	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO
Ш <sub>2</sub>	62,48	0,91	15,94	2,53	2,81
Ш <sub>3</sub>	59,98	0,74	16,35	1,90	3,29
Ш <sub>6</sub>	65,76	0,77	18,27	1,19	4,41

Индекс пепла	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O
Ш <sub>2</sub>	0,11	3,44	5,65	4,29	1,84
Ш <sub>3</sub>	0,10	5,91	5,93	4,28	1,52
Ш <sub>6</sub>	0,12	3,03	4,36	3,63	2,36

Примечание. Анализы выполнены в ЦХЛ ИВ ДВО РАН (аналитик Н.Р. Гусакова) и пересчитаны на безводность.

\*Данные приведены по [3].

Таблица 3

Вещественный состав тефры вулкана Шивелуч  
в 50 км от центра извержения, %\*

Индекс пепла	Вулканиче- ское стекло	Плагио- клаз	Рудный минерал	Обломки пород	Роговая обманка		Пирок- сены
					зеленая	бурая	
Ш <sub>2</sub> <sup>верх</sup>	58	25	2	4	11	—	—
Ш <sub>3</sub> <sup>верх</sup>	46	27	3	10	11	2	1
Ш <sub>6</sub>	53	25	3	16	2	Ед.	—

\*Данные приведены по [3, 10].

Краткая характеристика изучаемых пеплов дана в табл. 1—3. Отметим некоторые их особенности.

**Пепловый горизонт Ш<sub>2</sub>** имеет двучленное строение: нижний слой (3-см) представляет собой среднекрупнозернистый песок андезитобазальтового состава; верхний (7-см), который исследовали авторы этой работы, — белый тонкий пепел андезитодацитового состава (табл. 1). По данным В.Ю. Кирьянова, соотношение бесцветного и бурого стекла в этом пепле равно 88:12; пепел чистый, преобладают фракции < 0,056 и 0,056—0,25 мм (рис. 1).

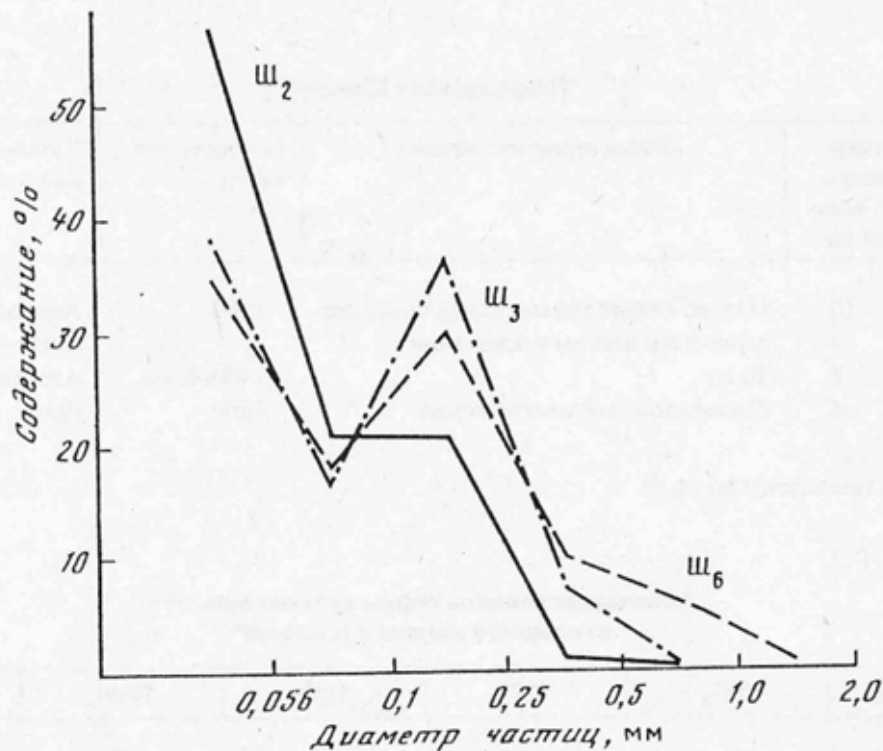


Рис. 1. Гистограмма распределения частиц тефры Ш<sub>2</sub><sup>верх</sup>, Ш<sub>3</sub><sup>верх</sup>, Ш<sub>6</sub> по размерам. Образцы из опорного разреза г. Ключи (по данным В.Ю. Кирьянова)

В пеплах разреза в пос. Козыревск Ш<sub>2</sub> утрачивает свою двучленность, но сохраняет черты, характерные для верхних частей ключевского, разреза [3—6]. В основании слоя тонкого пепла наблюдается лишь примесь частиц крупнозернистого песка.

**Пепловый горизонт Ш<sub>3</sub>** также состоит из двух слоев: нижнего (6-см) — средnekрупнозернистого песка и верхнего (2-см), который изучали авторы, — белого мелкозернистого вулканического песка. По данным В.Ю. Кирьянова, отношение бесцветного стекла к бурому равно 86:14. Здесь появляются бурая роговая обманка и пироксен (табл. 3). Пепел чистый, преобладают фракции < 0,056 и 0,1—0,25 мм (рис. 1).

**Пепловый горизонт Ш<sub>6</sub>** в пределах Ключевской группы вулканов везде представлен тонким материалом [3], по весовому содержанию разных фракций сходным с верхней частью тефры Ш<sub>3</sub> (рис. 1). Вещественный состав тефры Ш<sub>6</sub> похож на пепел Ш<sub>2</sub>, но отличается по некоторым характеристикам (табл. 3). По отношению бесцветного и бурого стекла (51:49, по данным В.Ю. Кирьянова) он резко отличается от тефры Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>3</sub>. Пепел чистый, в нем отмечается биотит — 1% [3].

Во всех изученных пеплах (Ш<sub>2</sub>, Ш<sub>3</sub> и Ш<sub>6</sub>) наблюдались агрегаты частиц сферoidalной формы (аккреционный пепел [см. 11]). Существует несколько объяснений агрегации пепловых частиц. Пеплы — кристаллы минералов, их сростки, тонкие частицы вулканического стекла — в пирокластической колонне и затем в эруптивной пепловой туче в кульминационные стадии извержений вулканов электризуются и вследствие этого слипаются, образуя агрегаты пепловых частиц [13]. К тому же частицы стекла насыщены тонкорассеянными рудными минералами, в основном магнетитом, благодаря чему пеплы приобретают магнитные свойства [12], что также способствует агрегированности частиц пеплов, а вследствие этого достаточно рыхлому сложению тефры в ненарушенном состоянии — 0,89 г/см<sup>3</sup>.

Микростроение тефры вулкана Шивелуч изучалось авторами на сканирующем электронном микроскопе кафедры инженерной геологии и охраны геологической

Характеристика порового пространства тефры вулкана Шивелуч

Характеристика	Ш <sub>2</sub>	Ш <sub>6</sub>	Ш <sub>2</sub>	Ш <sub>6</sub>
	увеличение (элемент дискретизации)			
	200 (3,43)		1000 (0,68)	
Пористость, %				
общая	32,9	42,3	36,5	36,9
внутриагрегатная	—	22,5	—	—
межагрегатная	—	19,8	—	—
Общая площадь пор, мкм <sup>2</sup>	3889578,65	5004897,59	172534,97	174749,66
Общий периметр пор, мкм	142133,44	120892,55	15571,99	15937,33
Количество пор, ед.	231	194	66	86
связанных, %	24,2	18,5	30,3	24,4
Средний диаметр поры, мкм	15,35	—	5,45	4,67
внутриагрегатной	—	9,26	—	—
межагрегатной	—	63,74	—	—
Средняя площадь поры, мкм <sup>2</sup>	185,22	—	23,35	17,17
внутриагрегатной	—	67,39	—	—
межагрегатной	—	3191,90	—	—
Средний периметр поры, мкм	62,47	—	23,08	19,02
внутриагрегатной	—	36,79	—	—
межагрегатной	—	253,20	—	—
Коэффициент формы пор, ед.	0,59	0,62	0,55	0,59

Примечание. Ш<sub>2</sub>—Ш<sub>6</sub> — индексы пеплов; ед. — единица.

среды геологического факультета МГУ. С помощью такого микроскопа можно исследовать как отдельные частицы, так и тонкие срезы и свежие сколы пород [8, 16, 19]. Нами изучены поверхности свежих сколов образцов тефры вулкана Шивелуч, получены 27 их фотографий при увеличениях 100 — 10 000 (Ш<sub>2</sub> — 12, Ш<sub>3</sub> — 9, Ш<sub>6</sub> — 6 снимков). При малых увеличениях исследована общая картина распределения структурных элементов породы, при больших — тонкие детали микростроения (размер и форма частиц и пор и т.д.). С помощью специализированных технических устройств (автоматических анализаторов изображения) и комплекта программ, разработанных в МГУ, для двух образцов — Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>6</sub> — были определены количественные характеристики порового пространства при увеличениях 200 и 1000 (табл. 4).

Одной из важных характеристик дисперсных пород являются структурные связи, существующие между их структурными элементами. Эти связи обусловлены магнитными, молекулярными, капиллярными, электростатическими, ионно-электростатическими силами и силами химической и механической природы [8, 16, 19]. Как было отмечено выше, электростатические и магнитные силы способствуют агрегации пепловых частиц в эруптивном облаке, они же осуще-



Рис. 2 а



Рис. 2 б



Рис. 2 в

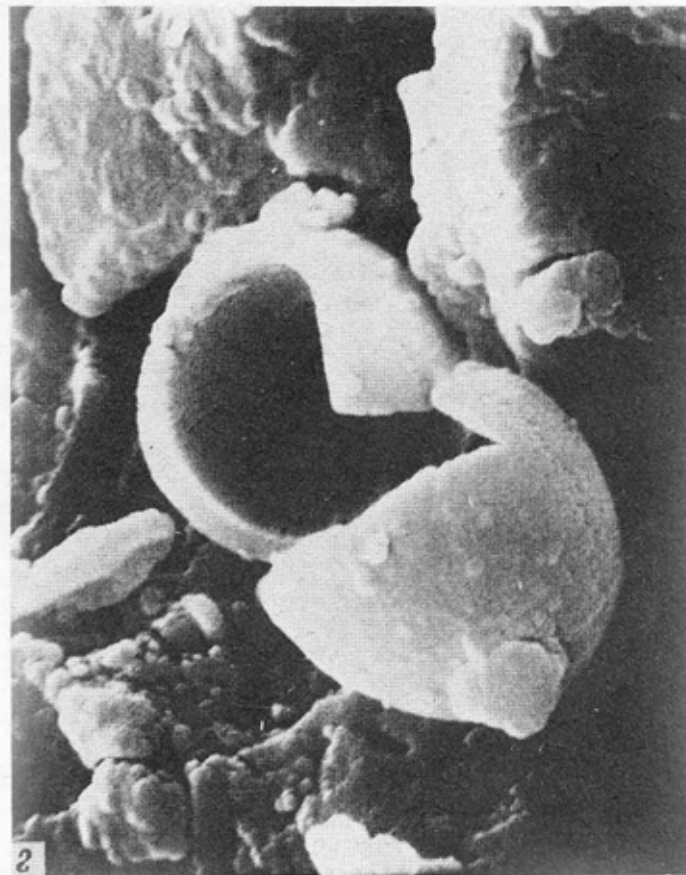


Рис. 2 г

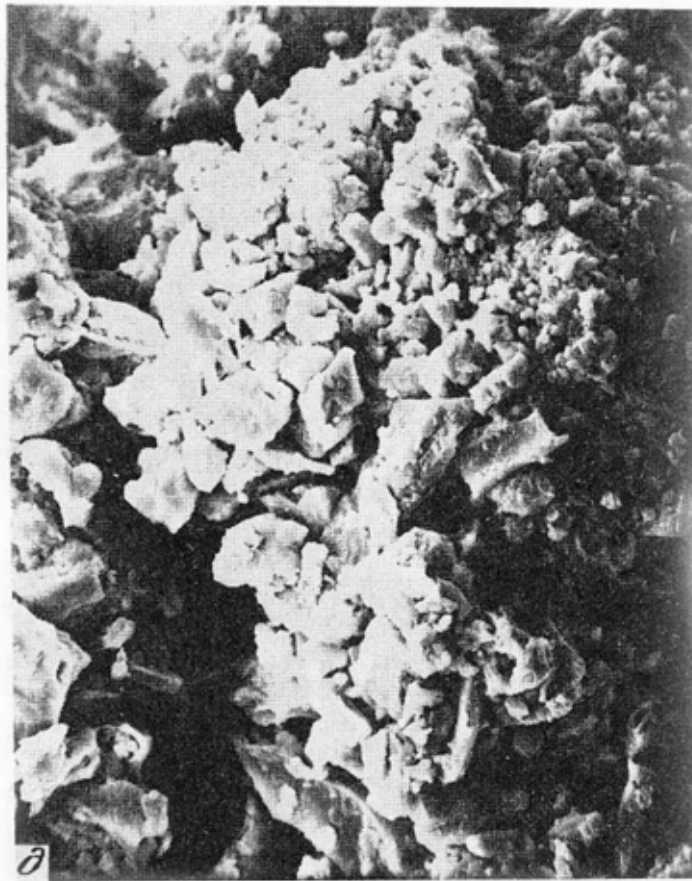


Рис. 2 *д*

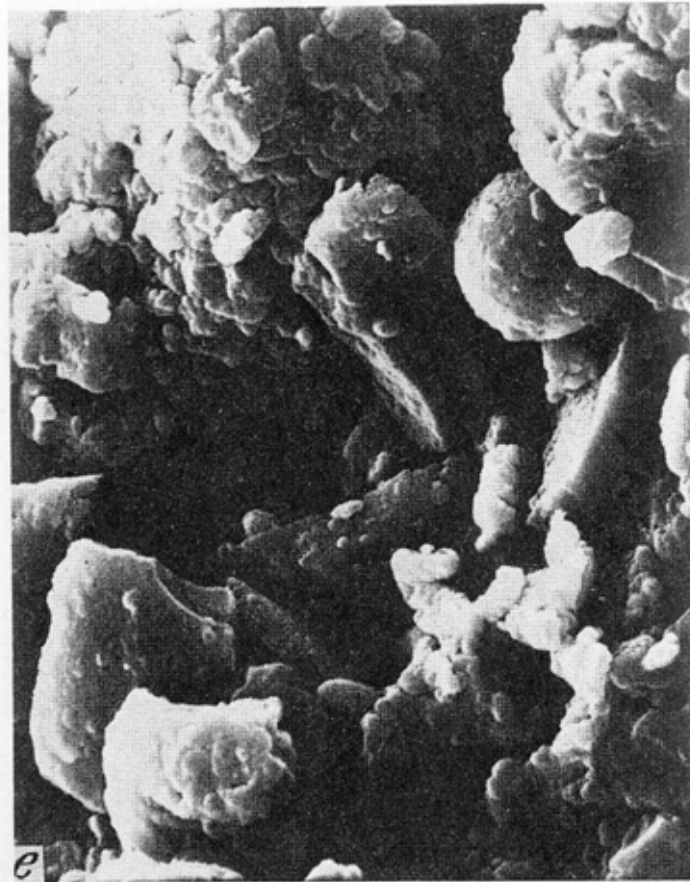


Рис. 2 *е*

Рис. 2. Микрофотографии поверхности тефры Ш<sub>2</sub>: *а, б* — из опорного разреза в г. Ключи при увеличениях 200 и 1000; *в—е* — из разреза в береговом обрыве пос. Козыревск при увеличениях. *в* — 1000, *г* — 10 000, *д* — 1000, *е* — 5000

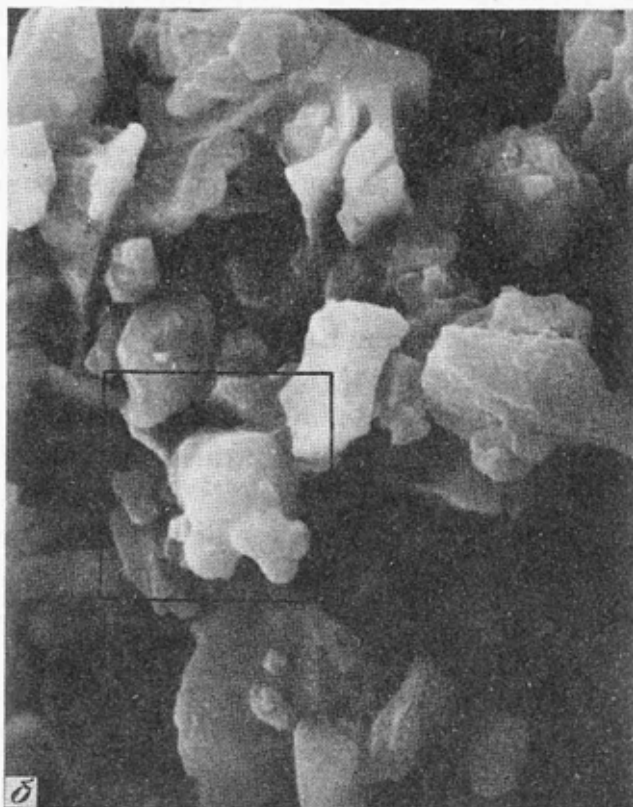


Рис. 3. Микрофотографии поверхности тефры Ш<sub>3</sub> из опорного разреза в г. Ключи при увеличении: 1000 (а) и 3000 (б)

ствляют взаимосвязь частиц и их агрегатов в отложениях леплов на земной поверхности. Тонкодисперсный пепел, частицы которого обладают развитой поверхностью, легко адсорбирует компоненты вулканических газов [1, 2, 20]. Благодаря этому между частицами пеплов в отложениях действуют также ионно-электростатические и молекулярные структурные связи. При увлажнении



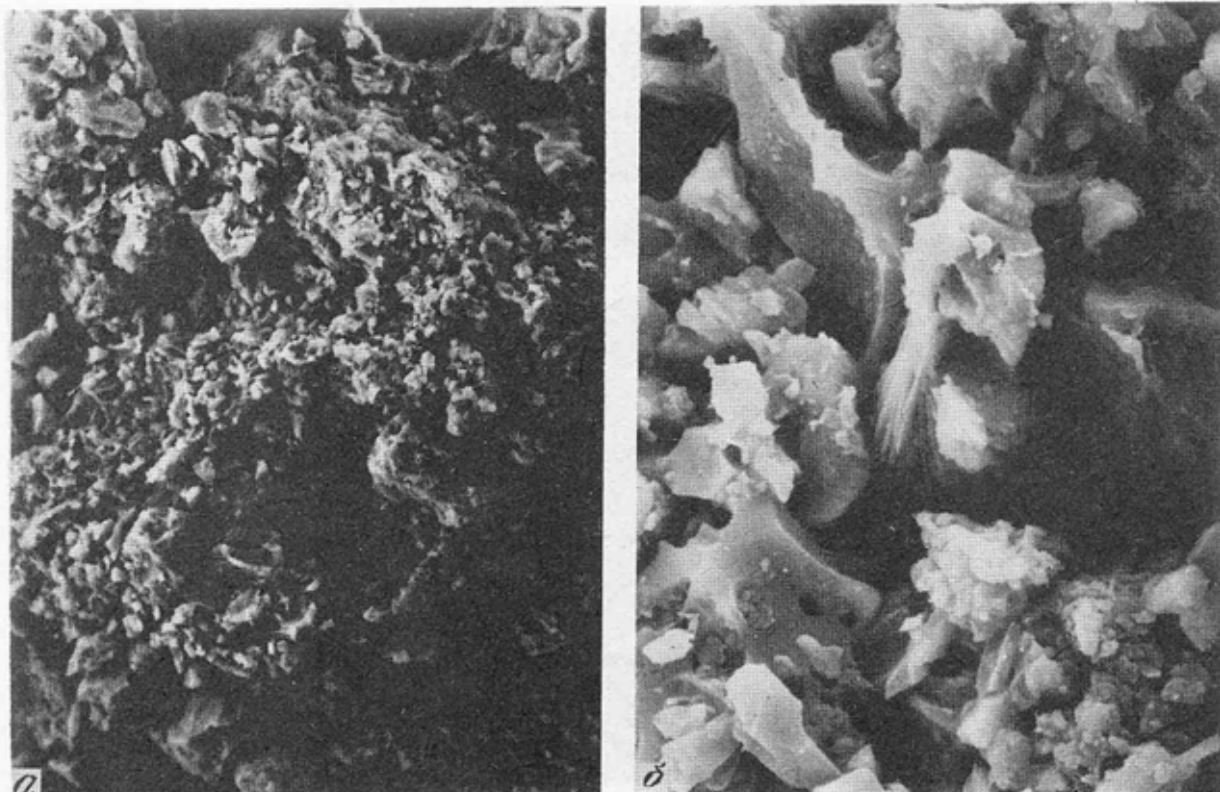


Рис. 4. Микрофотографии поверхности тефры Ш<sub>6</sub> из опорного разреза в г. Ключи при увеличении: 200 (а) и 1000 (б)

отложений появляются также капиллярные силы связи частиц. Таким образом, между частицами пеплов и их агрегатами действуют в основном структурные связи физической и физико-химической природы — электростатические, ионно-электростатические, молекулярные, магнитные, капиллярные.

Микроскопическое изучение тефры выявило ряд ее особенностей. В целом тephра Ш<sub>2</sub>, Ш<sub>3</sub> и Ш<sub>6</sub> образуется из обломков минералов, их сростков, частиц вулканического стекла. При увеличении в 200 раз видно, что тephра Ш<sub>2</sub> состоит из сравнительно однородных чешуйчатых частиц пеплов (cuspsate chards [21]) (рис. 2, а). Тephра Ш<sub>3</sub> и Ш<sub>6</sub> наряду с мелкочешуйчатыми частицами, вероятно, вулканического стекла, как у Ш<sub>2</sub>, содержит также крупные зерна (например, 15×30 мкм), пористые обломки (pumice shards [20, 21]), высокопористые частицы, фрагменты стенок разрушенных газовых пузырей диаметром по 15 мкм и др. (рис. 3, 4). При этом увеличении отмечаются также небольшие прослои более тонкого материала в пробах Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>3</sub> мощностью до 40 мкм, в которых частицы лежат более плотно, чем выше- и нижележащие. В тephре Ш<sub>6</sub> при этом увеличении хорошо видна агрегированность материала, что также подтверждается количественным анализом порового пространства этого участка породы (рис. 4, а, табл. 4).

При больших увеличениях в тephре Ш<sub>2</sub> отчетливо выделяются изометричные микроагрегаты частиц, например размером 55×55 мкм (рис. 2, д), а форма частиц пеплов выступает более отчетливо. Наряду с тонкими чешуйками вулканического стекла, монолитными обломками изометричной и удлиненной формы (shards [20]) размером 4×2, 9×5, 8×3, 60×42, 75×60 мкм и др. встречаются вогнуто-выпуклые частицы длиной до 50 мкм (Ш<sub>3</sub>, рис. 3, а), частицы, имеющие на поверхности удлиненные бороздки шириной 2 мкм (Ш<sub>2</sub>, рис. 2, б), а также своеобразные частицы, одна из сторон которых имеет строение и вид гребешка (Ш<sub>2</sub>) или оперения хвоста птицы (Ш<sub>6</sub>, рис. 4, б).

Наибольший интерес представляют обнаруженные в пеплах Ш<sub>2</sub> (разрез берегового откоса, пос. Козыревск) полые шарики вулканического стекла размером 3 мкм с толщиной стенок 0,3 мкм. Встречены целые шарики (рис. 2, д, е), а также расколотые при механическом воздействии (рис. 2, в, з). Такого же, вероятно, типа но не столь четко выраженный шарик вулканического стекла размером 3 мкм обнаружен в тефре Ш<sub>3</sub> (рис. 3, б). Небольшую часть шарика закрывает мелкая частичка, возможно, вулканического стекла. Судя по присутствию в тефре остатков четко выраженных шарообразных частиц размером до 42 мкм с толщиной стенок до 1 мкм, заполненных мелкими частицами пеплов, а также наличию вышеуказанного шарика, тефра Ш<sub>3</sub> так же, как Ш<sub>2</sub>, содержит полые шарики вулканического стекла. В тефре Ш<sub>6</sub> шарики стекла обнаружены не были. Следует отметить, что в тефре Ш<sub>2</sub> из опорного разреза в г. Ключи такие шарики также не встретились.

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

Контакты между структурными элементами пеплов в основном переходного типа [8, 16]. При отложении свежих пеплов на поверхность земли благодаря высокой активности поверхностного слоя частиц пеплов эти частицы и их агрегаты, вероятно, незначительно спекаются с образованием фазовых контактов. При недостаточном увлажнении пеплов такой тип контактов сохраняется, при повышенном увлажнении фазовые контакты преобразуются в коагуляционные, которые обуславливают возникновение пластических свойств пеплов [13]. Например, пеплы Ш<sub>2</sub> из разреза пос. Козыревск по числу пластичности (7) и консистенции относятся к твердым супесям (СНиП 11-15-74)\*.

Пористость является одной из важнейших структурно-текстурных характеристик породы [8]. Многие свойства пород почти линейно зависят от их пористости: с понижением пористости снижается проницаемость пород, их деформируемость, повышается прочность и т.д. По генетическим и морфологическим признакам выделяют несколько типов пористости пород, для дисперсных отложений главными являются межгранулярная, внутригранулярная, межагрегатная, внутриагрегатная [8, 16].

Как отмечено выше, количественный анализ пористости тефры Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>6</sub> проводился при увеличениях 200 и 1000 (рис. 2, а; 4, а, табл. 4). При увеличении 200 тефра Ш<sub>2</sub> представляет собой в целом однородный по размерам частиц и пористости массив, в отличие от тефры Ш<sub>6</sub>, где четко выражены агрегаты пепловых частиц и крупные поры между ними. В тефре Ш<sub>6</sub> наблюдается больше межгранулярная, со средним диаметром пор 15,35 мкм, и внутригранулярная, с диаметром пор до первых микрометров, пористость, а у тефры Ш<sub>6</sub> — межагрегатная, со средним диаметром пор 63,74 мкм, и внутриагрегатная, со средним диаметром пор 9,26 мкм (табл. 4). В тефре Ш<sub>2</sub> преобладают поры размером 13,75—55,0 мкм (56%), в пеплах Ш<sub>6</sub> — от 55,0 до 110 мкм (30%) и от 6,87 до 13,75 мкм (21%) (рис. 5). Общая площадь и периметр пор тефры Ш<sub>2</sub> и пеплов Ш<sub>6</sub> одного порядка. В связи с преобладанием в тефре Ш<sub>6</sub> агрегатов пепловых частиц общая пористость тефры Ш<sub>6</sub> больше, чем тефры Ш<sub>2</sub> (42,3 и 32,9% соответственно), хотя по числу пор пеплы Ш<sub>2</sub> и превосходят пеплы Ш<sub>6</sub> (231 и 194 соответственно).

При увеличении 1000 различия в тефре Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>6</sub> менее выражены. Средний диаметр пор тефры Ш<sub>2</sub> немного больше, чем тефры Ш<sub>6</sub> (5,45 и 4,67 мкм соответственно) и отсюда — больше площадь и периметр средней поры пеплов Ш<sub>2</sub>.

\* Гирин О.А. Инженерно-геологические особенности пеплов, шлаков вулканов Толбачик, Шивелуч (Камчатка): дипломная работа 1984 г., геологический факультет, МГУ.

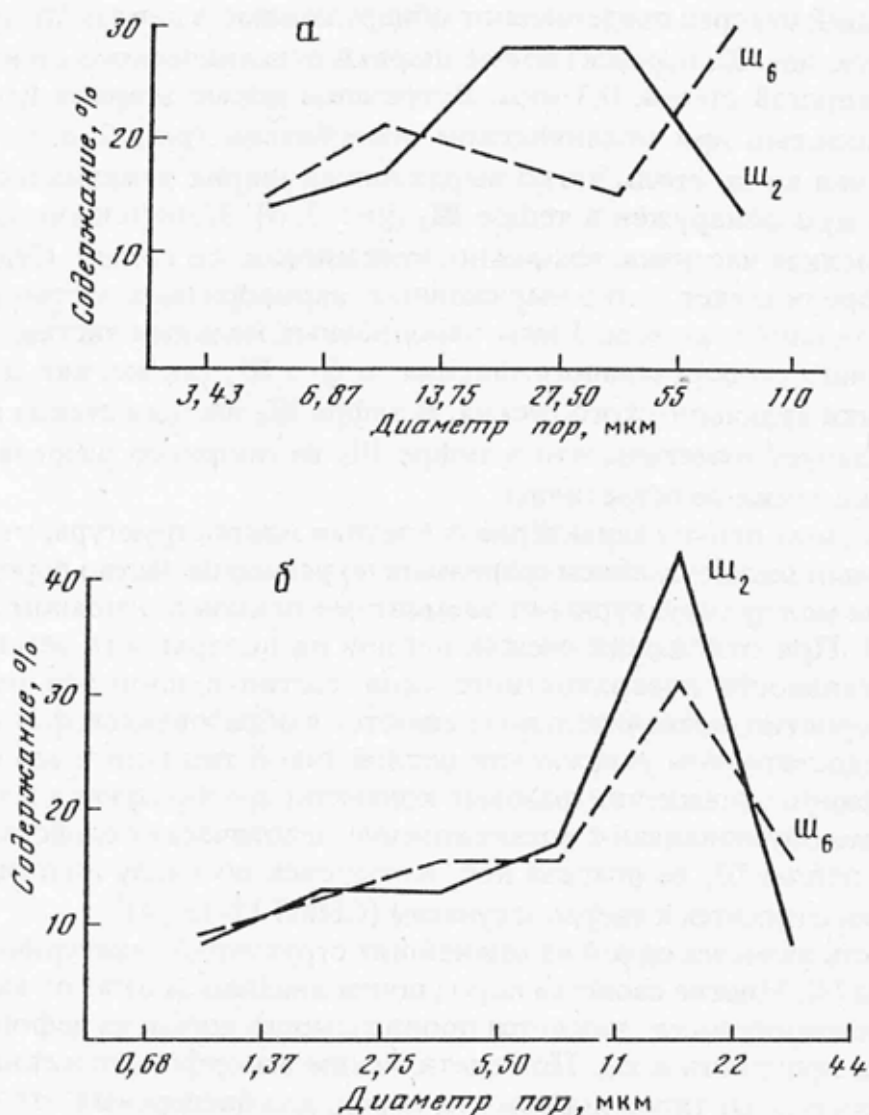


Рис. 5 Гистограмма распределения пор тефры Ш<sub>2</sub><sup>верх</sup> и Ш<sub>6</sub> по размерам при увеличениях: а — 200, б — 1000

Интересно, что при меньшем общем количестве тефры Ш<sub>2</sub> по сравнению с тефрой Ш<sub>6</sub> количество связанных пор в тефре Ш<sub>2</sub> больше, чем в пеплах Ш<sub>6</sub> (66/30,3 и 86/24,4 соответственно) (табл. 4).

Общая картина распределения пор по размерам на участках тефры Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>6</sub> сходна (рис. 2, б, 4, б). В тефре Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>6</sub> резко преобладают поры размером от 11,0 до 22,0 мкм (42 и 31% соответственно — рис. 5, б). В целом общие площадь и периметр пор, а также общая пористость тефры Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>6</sub> фактически одинаковы (табл. 4).

Коэффициент формы пор показывает степень их изотермичности, т.е. степень приближения к идеальной круглой поре, коэффициент формы которой равен единице [8]. Для тефры Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>6</sub> при увеличении 200 коэффициент различается на три единицы, при 1000 — на четыре единицы, в целом же поры пеплов и Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>6</sub> далеки от идеала, т.е. только часть их имеет круглую, вернее шарообразную, форму, большее же количество пор — удлинённые и бесформенные.

**Дискуссия.** Главной особенностью рассмотренных образцов тефры Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>6</sub> вулкана Шивелуч является содержание в них мелких полых шариков вулканического стекла. Следует отметить, что в пеплах Ш<sub>2</sub> такие шарики в пос. Козыревск обнаружены, а в г. Ключи — нет.

Как считают некоторые исследователи [18], полые стеклянные шарики вулканического происхождения возникают в процессе охлаждения расплава благодаря резкому снижению растворимости в нем кислорода. По мере движения магмы по каналу происходит все больший ее разогрев, увеличение скорости и уменьшение вязкости. На каком-то этапе магма «вскипает». В результате высвобождения летучих вязкость двухфазной системы уменьшается, а скорость движения еще больше увеличивается. При определенных условиях — резком падении давления — происходит катастрофическое отделение летучих компонентов [18], т.е. извержение приобретает лавинный, взрывной характер. Попадая в результате катастрофической плинианской деятельности в холодные высокие слои атмосферы, капельки расплава быстро остывают. Эту гипотезу подтверждают исследования температурного режима расплавов, при котором формировались стекловатые шарообразные тела [18].

Флюидизация потока — расслоение его на структурные струи — и его турбулентность обуславливают разную скорость движения струй: большую — в центральной части и меньшую — по периферии. Этим, возможно, объясняется то, что шарики вулканического стекла в тефре Ш<sub>2</sub> вулкана Шивелуч встречены были на «боковой» части распространения пеплового шейфа (пос. Козыревск), а на оси шейфа такие шарики, вероятно, должны быть обнаружены на большем удалении от центра извержения, чем г. Ключи.

Стеклянные шарики могут иметь также и космическое происхождение [18], но для шариков тефры Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>3</sub> наиболее реальным представляется вулканический генезис.

Как указывают Р. Фишер и Г. Шминке [20], сферические газовые пузырьки, полностью окруженные вулканическим стеклом, т.е. полые шарики вулканического стекла, встречаются крайне редко. Стеклянные шарики были обнаружены Перретом в продуктах извержения 1912 г. вулкана Катмай (Новарупта) [20]. Исследованиями ряда ученых показано, что «формирование мощных покровов игнимбритов... возможно лишь из материала, основу которого составляют капельки расплава, содержащие в себе существенные количества летучих» [18, с. 48]. Интересно, что вулканы Шивелуч и Катмай занимают крайние положения в Алеутской вулканотектонической зоне и имеют соответственно андезитодацитовый и андезиториолитовый составы пород. А.А. Меняйлов считал, что в деятельности этих вулканов больше различий, чем сходства [15], но он сравнивал неравноценные события: извержение 1944—1950 гг., связанное с ростом купола на вулкане Шивелуч, и катастрофическое извержение 1912 г. вулкана Катмай. В 1964 г. произошло катастрофическое извержение вулкана Шивелуч, относящееся к типу направленных взрывов [7]. Возможно, крупные голоценовые извержения этого вулкана, в результате которых образовались горизонты тефры Ш<sub>1</sub>—Ш<sub>7</sub>, протекали аналогично. Современные исследования продуктов голоценовых извержений вулканов Шивелуч и Катмай и сопутствующих извержениям явлений, как, например, ослабление прямой солнечной радиации после извержения вулкана Катмай в 1912 г. [1], позволяют в какой-то мере сопоставлять процессы извержений этих вулканов. Катастрофические извержения вулкана Шивелуч в голоцене происходили, вероятно, из молодого кратера, заполнявшегося время от времени новыми экструзивными куполами. Катастрофическое извержение 1912 г. связано с кратером на склоне вулкана Катмай, в котором впоследствии вырос купол Новарупта. Оба извержения имели фазы мощной плинианской деятельности вулканов и т.д. Изучение отложений современных и древних извержений вулканов Шивелуч и Катмай, находящихся в крайних положениях Алеутской вулканотектонической зоны, даст возможность, вероятно, восстановить и взаимно дополнить эволюцию каждого из этих вулканов в отдельности.

Тефру Ш<sub>6</sub> на основании новейших региональных исследований относят теперь к продуктам извержения вулкана Хангар [4, с. 8]. Авторы статьи полагают, что необходимо дополнительно изучить на микроуровне образцы тефры вулканов Хангар и Шивелуч для выявления четких различий между их продуктами. Интересно также исследовать на микроуровне тефру других вулканов, по характеру деятельности сходных с вулканом Шивелуч. Например, изученные авторами образцы пеплов вулкана Безымянный резко отличаются от тефры вулкана Шивелуч, тогда как вышеуказанные пеплы Ш<sub>2</sub>, Ш<sub>3</sub> и Ш<sub>6</sub> между собой имеют много общего.

В заключение отметим некоторые результаты проведенных исследований.

1. Впервые проведено изучение морфологических особенностей микроструктуры трех образцов ненарушенного строения тефры вулкана Шивелуч.

2. Дан качественный анализ структуры пеплов в ненарушенном состоянии: описаны отдельные частицы тефры, тип микроструктуры образцов, структурные связи и типы контактов между частицами пеплов и их агрегатами.

3. Дан количественный анализ пористости тефры Ш<sub>2</sub> и Ш<sub>6</sub> при увеличениях 200 и 1000. Показано, что агрегированность материала увеличивает его общую пористость.

4. Впервые в пеплах Ш<sub>2</sub> обнаружены полые шарики вулканического стекла. По мнению авторов, эта находка усиливает сходство деятельности вулканов Шивелуч и Катмай, расположенных в крайних положениях Алеутской вулканотектонической зоны.

Авторы приносят искреннюю благодарность д-ру геол.-мин. наук В.Т. Трофимову (МГУ) за помощь в проведении исследований тефры вулкана Шивелуч.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Асатуров М.Л., Будыко М.И., Винников К.Я. и др. Вулканы, стратосферный аэрозоль и климат Земли. Л.: Гидрометеиздат, 1986. 256 с.
2. Башарина Л.А. Водные вытяжки пепла и газы пепловой тучи вулкана Безымянный // Бюл. вулканол. станции. 1958. № 27. С. 38—42.
3. Брайцева О.А., Кирьянов В.Ю., Сулержицкий Л.Д. Маркирующие прослои голоценовой тефры восточной вулканической зоны Камчатки // Вулканология и сейсмология. 1985. № 5. С. 80—96.
4. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Богоявленская Г.И. и др. Вулкан Безымянный: история формирования и динамика активности // Вулканология и сейсмология. 1990. № 2. С. 3—22.
5. Брайцева О.А., Мелекесцев И.В., Пономарева В.В. и др. Тефрохронологические и геохронологические исследования Толбачинской региональной зоны шлаковых конусов // Вулканология и сейсмология. 1981. № 3. С. 14—28.
6. Гептнер А.П., Пономарева В.В. Применение минералогического анализа для корреляции пеплов вулкана Шивелуч // Бюл. вулканол. станций, 1979. № 56. С. 126—130.
7. Горшков Г.С., Дубик Ю.М. Направленный взрыв на вулкане Шивелуч // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 3—37.
8. Грунтоведение / Под ред. Е.М. Сергеева. 5-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1983. 389 с.
9. Гуценко И.И. Пеплы Северной Камчатки и условия их образования. М.: Наука, 1965. 144 с.
10. Дубик Ю.М., Меняйлов И.А. Новый этап эруптивной деятельности вулкана Безымянный // Вулканы и извержения. М.: Наука, 1969. С. 38—77.
11. Кирьянов В.Ю. Гравитационная эоловая дифференциация пеплов вулкана Шивелуч // Вулканология и сейсмология. 1983. № 6. С. 30—39.

12. Малеев Е.Ф. Вулканиды. М.: Недра, 1980. 240 с.
13. Маркин Б.П. Просадки в пепловых толщах Камчатки // Инж. геология. 1980. № 1. С. 61—75.
14. Мелекесцев И.В., Вольнец О.Н., Ермаков В.А. и др. Вулкан Шивелуч // Действующие вулканы Камчатки. Т. 1. Гл. 5. М.: Наука, 1991. С. 84—97.
15. Меняйлов И.А. Вулкан Шивелуч — его геологическое строение, состав и извержения // Тр. лаб. вулканологии АН СССР. Вып. 9. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 264 с.
16. Методическое пособие по инженерно-геологическому изучению горных пород / Под ред. Е.М. Сергеева. 2-е изд. М.: Недра, 1984. 438 с.
17. Пийп Б.И. Новое эруптивное состояние вулкана Шивелуч с конца 1944 по май 1945 г. и некоторые замечания о геологической структуре этого вулкана и его прошлых извержениях // Бюл. вулканол. станции. 1948. № 44. С. 38—51.
18. Природные стекла — индикаторы геологических процессов / Под ред. О.А. Богатикова, А.М. Борсука. М.: Наука, 1987. 158 с.
19. Теоретические основы инженерной геологии. Физико-химические основы / Под ред. Е.М. Сергеева. М.: Недра, 1985. 288 с.
20. Fisher R.V., Schmincke H.U. Pyroclastic rocks. Berlin; Heidelberg, New York; Tokyo: Springer-Verlag, 1984. 472 p.
21. Heiken G., Wohletz K. Volcanic ash. University of California Press. Berkeley; Los Angeles; London, 1985. 246 p.

Институт вулканической геологии и геохимии ДВО РАН,  
Петропавловск-Камчатский

Поступила в редакцию  
19.06.1992

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,  
геологический факультет