

ВУЛКАНОЛОГИЯ

А. И. Месропян

О генезисе четвертичных туфов Армении
(Еревано-ленинаканский тип туфов)

Краткие сведения о четвертичных туфах Армении

Общие сведения

Четвертичные вулканические туфы играют значительную роль среди образований, слагающих территорию Армянской ССР. Несмотря на то, что происхождением их занимался ряд исследователей, однако, до настоящего времени нельзя считать окончательно выясненными физико-химические условия, при которых образовались туфы.

Генезис вулканических туфов Армении в своих трудах касался ряд ученых: Г. Абиш [1], П. И. Лебедев [14], В. В. Залесский и В. П. Петров [11], К. Н. Паффенгольц [19] и др. В последние годы академик А. И. Заварицкий, изучая четвертичный вулканизм Армении, опубликовал три статьи [8, 9, 10], посвященные в основном туфам Армении и параллелизации их с аналогичными породами, известными за пределами Советского Союза.

Судя по описаниям и иллюстрациям А. Н. Заварицкого и других исследователей, эти зарубежные породы по составу и по структуре действительно напоминают туфы Армении; в частности, подобные образования четвертичного возраста имеют широкое развитие в Италии—серые туфы Кампани и Флегрейских полей. А. Н. Заварицкий [9] считает возможным существование плейстоценовых туфов и у нас на Камчатке, в основании некоторых современных вулканов.

В результате систематизации и изучения данных геолого-разведочных и геолого-исследовательских работ по туфам, проведенных в последние годы рядом организаций и нами в республике, накопился достаточно полный материал, позволяющий нам в настоящей статье изложить основные положения и предварительные выводы о физико-химических условиях образования вулканических туфов Армении.

За пределами Советского Союза вулканические туфы особенно детально изучались в Италии—Цамбонини, в Катмаи (Аляске)—Фенцером, и в Новой Зеландии—Маршаллом [13]. Последний аналогичные туфовые образования называет игнимбритами, что в переводе с греческого означает «огненный ливень» (игнис—огонь, имбер—ливень).

Исследование четвертичных туфов Армении позволило академику А. Н. Заварицкому отнести их также к игнимбрикам.

Армения является типичной областью недавней интенсивной вулканической деятельности, свидетелями чего на ее территории являются многочисленные потухшие вулканы. Значительная часть Армении покрыта материалом выбросов из центральных вулканов и трещинных излияний. Эти образования представлены различными лавами и вулканическими туфами. Четвертичные туфы, как увидим ниже, занимали в прошлом почти одну треть территории Армении.

Общее количество туфового материала, выброшенного в четвертичное время, составляет по нашим вычислениям около 100 км³. В эту цифру не входит часть вулканического пепла, который в подобных случаях извергается в огромном количестве и уносится далеко воздушными течениями в виде вулканической пыли, далее образуя на дне больших подоемов выдержанные пласты пепла. В результате последующей эрозии сохранилась лишь часть некогда сплошного покрова туфов. Сейчас вулканические туфы образуют, наряду с отдельными останцами, довольно обширные поля, измеряемые сотнями квадратных километров (Таливское, Аштаракское, Шамирамское, Егвардское и др.). Четвертичные туфы обнаружены также в районах с. Гарни. Они имеются недалеко от с. Севан, в районе с. Амасии и по ту сторону р. Ахурян.

В народном хозяйстве нашей республики туфы играют важную роль и, благодаря своим прекрасным физико-механическим качествам, имеют широкое применение в строительстве.

Покровы четвертичных вулканических туфов Армении, имея палеогеновый возраст, перекрывают самые различные образования от палеозоя до четвертичного времени.

Обладая в общем глыбовой отдельностью, туфы Армении лишь иногда характеризуются столбчатой отдельностью (у с. Аштарак, выше с. Макарашен, в левобережье р. Карачобан (правый приток р. Памбак), в Кишлаге, Капском ущелье и т. д.).

Разновидности четвертичных туфов Армении

Несмотря на самые разнообразные оттенки, четвертичные туфы Армении предыдущими исследователями [1, 11, 14, 19] по окраске, по своему строению, химическому составу и другим особенностям морфологически подразделялись на три разновидности.

Наибольшей распространенностью пользуется разновидность, известная под названием ереванско-ленинканского туфа, характеризующаяся темносерой, темнокоричневой и, чаще всего, черной окрасками. Их часто называют черными туфами.

Эти туфы в верхней своей части постепенно приобретают красноватый оттенок и ближе к кровле толщи (на 0,5—0,9 м) переходят в красные, оранжево-красные или кирпично-красные туфы.

Вторая разновидность туфов Армении известна под названием «артикской». Артикские туфы отличаются фиолетовым и розово-пепельно-фиолетовым цветом. Они в верхней своей части также переходят в

красные разности («красная покрывка») мощностью до 1 м и в них насчитывается до 50 отдельных оттенков.

Наконец, к третьей разновидности относятся красно-черные туфы, очковые, пламенные и т. д. Имеются также желтые туфы (с. Такия), но они имеют весьма ограниченное распространение.

Перечисленные туфы нигде в Армении не образуют непрерывного, последовательного разреза, где можно было бы разрешить вопрос о взаимном расположении туфов различного типа. Однако, в ряде случаев (Кипчагский овраг, Аштарак—ущелье р. Касах и т. д.) черные туфы сверху постепенно переходят в арктические (Арич) и в красно-черные (Аштарак).

Окраска различных по цвету туфов вызвана изменением окраски стекловатой основной массы породы различными по качеству и количеству железистыми соединениями: коричнево-бурой в черно-серых туфах и желтой, золотисто-желтой, кирпично-красной, бледно-розовой и бледно-фиолетовой—в цветных красноватых разностях (в шлифах под микроскопом). Желтоватые и красноватые оттенки основной стекловатой массы красных туфов, как увидим ниже, являются главным образом следствием окисления пирокластического материала кислородом воздуха в верхнем слое выпавшей еще раскаленной массы. Эта окраска вызывается появлением в стекле глобулитов, т. е. мельчайших сферических телец, непрозрачных и состоящих, главным образом, из Fe_2O_3 , вследствие перехода закисного железа в окисное.

Минералогический состав туфов

Минералогический состав туфов, независимо от их окраски, структуры и текстуры почти однороден. Породообразующими минералами являются: плагиоклаз, представленный обычно андезином, реже лабрадором или олигоклазом, моноклиновый, а часто также ромбический пироксен в рудный минерал,—обычно представленный магнетитом. Из акцессорных минералов отмечается апатит. Кроме того в состав туфов входит в значительном количестве (от 50 до 80% и более) вулканическое стекло, окрашенное обычно в шлифах в различные оттенки бурого или желтого цвета, обломки пемзовидных—шлаковидных веществ и лав, а в арктических туфах часто и кристаллобит, микролиты и т. д.

Количественное соотношение между интрателлурическими минералами, обломками посторонних пород и вулканическим стеклом различное, но всегда с резким преобладанием последнего. Из перечисленных выше минералов плагиоклазы в вулканических туфах характеризуются в значительной степени своей деформированностью, раздробленностью и «изъеденностью» («корродированностью»).

Черные и в особенности туфы очкового типа заключают характерные стекловатые включения черной и коричневой окрасок, размером до 10 м и более. Они имеют сплюснуто-эллипсоидальную форму.

В Италии подобные образования, имеющие форму языка пламени,

называются «фьямме», которые под микроскопом часто обнаруживают сферолитовую кристаллизацию.

Аналогичным минералогическим составом, по описанию А. Н. Заварицкого [7], характеризуются также вулканические пеплы, выброшенные ныне действующей Ключевской сопкой на Камчатке. Этот пепел состоит из осколков прозрачного желтоватого или непрозрачного, но просвечивающего в краях бурого вулканического стекла. А. Н. Заварицкий объясняет бурю окраску непрозрачной разновидности изменением прозрачного стекла под окислительным влиянием атмосферы. В указанных пеплах имеются также свежие плагиоклазы (лабрадор) в виде призматических кристаллов и авгит.

По характеру лишь одних интрателлурических минералов туфов Армении можно судить о составе той первичной магмы, в которой выделялись эти минералы и находились в ней во взвешенном состоянии. Ассоциация минералов: андезин, моноклинические и ромбические пироксены, а также магнетит, позволяет предполагать, что исходная магма, из чего образовались туфы Армении, отвечала авгит-гиперстенному андезитовому и, может быть, андезито-базальтовому составу.

Отмеченная ассоциация минералов образовалась в глубоком магматическом очаге, в магме указанного состава. Это положение соответствует предположению А. Н. Заварицкого, считающего, что происхождение туфов обязано магматической (гравитационной) дифференциации единой андезито-базальтовой магмы [8].

Петрографическая характеристика

В петрографическом отношении туфы сревано-ленинаканского типа характеризуются типичной кластической, спутанно-волокнутой, «ажурно-пемзовой» и псевдопорфиновой структурой. Текстура катакластическая. Основная масса стекловатая (пелловая), представленная обломками стекла, имеющими нередко характерную форму дужек, лунок или совершенно неправильных тонкопористых частиц, придающих под микроскопом породе своеобразный облик.

Артекские фиолетовые туфы характеризуются псевдопорфиновой структурой и часто псевдофлюидальной текстурой стекловатой массы, что вызвано наличием в этих туфах вытянутых узких пустот. Иногда воздушных пустот в основной массе так много, что в шлифе под микроскопом получается своеобразная сетка пенисто-пористой массы (пемзовидная текстура), состоящей из «флюидально» — ориентированного пемзовидного материала или петлевидно-волокнутого стекла.

Туфы Армении отличаются своей значительной пористостью, чем обуславливается их небольшой объемный вес, вследствие чего они относятся к разряду лучших строительных материалов. Поры в туфах округлые, часто вытянутые, сплюснутые, но они не сообщаются друг с другом («слепые поры»). Наблюдаемая же сплюснутость пор, как и включений

в туфах («фиамме»), повидимому, обязана статической нагрузке вышележащих слоев, еще вязких в период отложения.

Преобладающими трещинами в четвертичных вулканических туфах Армении являются трещины выветривания. Они не проникают глубоко в породу и большей частью заполнены продуктами выветривания. Трещины отдельности отличаются незначительным просветом. Но в туфовых карьерах часто наблюдаются трещины с просветом до 5—7 см, они проходят до основания толщи туфов и заполнены перетертым туфовым материалом. Эти трещины, вероятно, сейсмического характера.

Химический состав

Работами П. И. Лебедева [14], П. П. Гамбаряна [2], К. Н. Паффенгольца [19], А. С. Гинсберга [3], А. Ф. Фиолетовой [23] и других исследователей химический состав вулканических туфов Армении изучен достаточно полно.

В таблице I приводится средний химический состав туфов по типичным анализам на основе наших исследований и данных ряда ученых [1, 2, 3, 11, 12, 19].

Таблица I

% содержания окислов.	Пламенный туф (2 тип. анализ)		Серо-черный туф (6 тип. анализ)		Красный туф (8 тип. анализ)		Артикский туф (6 тип. анализ)		Желтый туф (1 тип. анализ)
	Значение	Колебание	Значение	Колебание	Значение	Колебание	Значение	Колебание	
SiO ₂	62,95	± ± 1%	62,70	± ± 1%	62,09	± ± 1,5%	65,02	± ± 1%	65,12
Al ₂ O ₃	15,80	± ± 0,5%	17,30	± ± 0,50%	17,41	± ± 1%	16,51	± ± 1%	15,33
Fe ₂ O ₃	2,98	± ± 0,3%	1,80	± ± 0,5%	4,22	± ± 1%	2,73	± ± 1%	2,41
FeO	0,54		2,70	± ± 0,70%	0,99	± ± 0,70%	0,67	± ± 0,6%	0,43
MnO	0,09		0,05		0,16		0,30		0,06
MgO	1,12		0,95		1,08		1,50		1,50
CaO	2,14		2,95		3,36		2,49		1,79
TiO ₂	0,70		0,80		0,77		0,51		0,73
Na ₂ O	4,90	± ± 0,3%	4,50		3,95	± ± 0,8%	4,81	± ± 0,5%	4,52
K ₂ O	4,10	± ± 0,02%	3,55		3,80	± ± 0,8%	4,31	± ± 1%	3,65
H ₂ O	2,80		2,20		3,47		0,42		2,51
п. п. п.	0,62		1,90		3,00		0,37		1,79

Если сравнить химический состав черных и занимающих их верхние слои красных туфов, то можно отметить, что они почти одинаковы.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что в черных туфах содержание закисного железа значительно больше, чем окисного; в красных же туфах железо присутствует преимущественно в окисном состоянии.

Содержание CaO не может характеризовать вулканические туфы, так как в цементах их верхних слоев карбонаты часто имеются в существенном количестве и связаны со вторичными процессами выветривания туфов.

Туфы арктического типа характеризуются почти постоянным содержанием SiO_2 , равным около 65%. Они отличаются значительным содержанием окисного железа (по сравнению с закисным) и несколько большей щелочностью, чем туфы черные и красные.

Черные (и желтые) туфы отличаются от пепельно-фиолетовой арктической разновидности значительно большим содержанием воды. В то время, как содержание воды в туфах первого типа составляет 2,20—3,5%, в туфах арктического типа весовое содержание воды составляет около 0,40%, т. е. даже меньше, чем в обычных лавах.

Данные химических анализов туфов были нами пересчитаны по методу Заварицкого и на основании полученных параметров, по таблице Дэли, установлено, что черные туфы по составу соответствуют дацитам, а арктический туф — щелочным дацитам. Этот пересчет еще раз подтвердил существующее мнение, что химически все туфы весьма близки между собой и по составу соответствуют более кислой магме, чем можно было полагать по ассоциации находящихся в них интрателлурических минералов, указывающих на более основной андезитовый состав исходной магмы.

Таким образом, можно предполагать, что туфы обязаны своим происхождением первичной андезитовой магме, в которой выделялась отмеченная выше ассоциация интрателлурических минералов. Но непосредственно туфы связаны с верхней, более кислой, легкой и вязкой частью магмы [8], образовавшейся вследствие гравитационной дифференциации магмы андезитового состава.

Вулканические туфы можно рассматривать как обломочный материал из двух, химически разных, частей: более основных интрателлурических кристаллических, а также и стекловатых («фиамме») включений-псевдо-вкрапленников, и более кислого стекла и обломков пемзовидного вещества, химический состав которых, вероятно, отвечает трахиту.

В пламенных туфах* содержание SiO_2 — 61,39%, Al_2O_3 — 13,60%. Тот же образец, освобожденный от фиамме, был подвергнут химическому анализу; в нем SiO_2 оказалось 64,20% и Al_2O_3 — 16,55%.

В частности арктические туфы заключают в себе значительно большее количество стекла, чем ереванско-ленинканские; в них содержание SiO_2 больше по сравнению со вторым типом.

Условия залегания

Наблюдением за условиями залегания и изучением состава черных туфов республики в различных районах установлена идентичность залегания состава и строения туфов независимо от места нахождения их. Постоянный состав, окраска, а также одинаковые мощность и возраст их дают основание полагать, что в период осаднения туфового материала вся северо-западная часть территории Армянской ССР была покрыта слоем пирокластического материала.

* Образец № 25, коллекция А. А. Адамян, анализатор П. С. Лазаревич.

Значительная часть (более 4/5) первоначального туфового покрова была в последующем эродирована. Для характеристики размыва интересно отметить, что при шурфовке в Эларском участке, над черными туфами нами были обнаружены делювиальные отложения, состоящие из глин с различными по размеру обломками тех же черных или красных туфов. Такая же картина наблюдается в Кишлагте и в ряде других мест. Очевидно, здесь имелись благоприятные условия древнего рельефа, где делювиальные отложения с обломками туфа переносились с другого места и осаждались над уже уплотнившимися туфами, залегающими почти горизонтально.

Таким образом, в настоящее время сохранились лишь отдельные островки туфов преимущественно в равнинных частях древнего рельефа.

Для ереванско-ленинканских вулканических туфов установлены многочисленные разновидности, отличающиеся друг от друга в основном своей раскраской.

Такие разновидности наблюдаются порой даже в пределах одного месторождения и одного карьера. Это явление изучено еще недостаточно и можно лишь предполагать, что оно связано не столько с различием природы исходного материала, сколько с отличием физико-химических условий, при которых происходило остывание и затвердевание уже отложившихся на поверхности земли горячих масс.

По условиям залегания артикские туфы, наоборот, образуют потоки и занимают овраги и лощины на склонах г. Арагац. Языки этих потоков изучены и закартированы различными исследователями (П. И. Лебедев, [14], А. А. Иванчин-Писаревым [12] и др.).

Артикские туфы окаймляют с запада массив г. Арагац, с севера на юг дугой почти в 180°, ширина полосы 12—14 км, длина—несколько десятков километров.

Кроме характерного фиолетового цвета артикские туфы отличаются от черных большей пористостью, меньшим объемным весом, звонкостью при ударе и другими свойствами. Стекловатая масса лучше раскристаллизована в их нижних слоях, где обнаруживаются микролиты, кристобалиты и т. д.

Черные туфы редко образуют столбчатую отдельность; в артикских же туфах этого явления вовсе не наблюдается.

Из приведенных выше данных вытекает, что, несмотря на некоторую общность состава, ереванско-ленинканские и артикские разновидности туфов отличаются друг от друга химическим составом, окраской, геологическими условиями залегания и физико-механическими свойствами, указывающими, по видимому, на различные физико-химические условия их образования.

Перейдем к рассмотрению условий образования отдельных типов туфов.

В настоящей статье мы останавливаемся на генезисе лишь ереванско-ленинканского типа туфов, как наиболее распространенного на терри-

тории Армянской ССР. Эти туфы получили широкое применение в городском и сельском строительстве в республике в качестве стенового материала. Они имеют значительное распространение в Приереванском, Аштаракском, Ленинаканском, Кироваканском и других районах Армянской ССР. Вопрос о генезисе других типов туфа будет рассматриваться нами в отдельной статье.

II. Еревано-ленинаканский тип туфа

Физико-географические условия образования

(О природе туфовых песков и прослое пемзовой мелочи над ними).

Для выяснения физико-географических условий, в которых протекало образование черных еревано-ленинаканских туфов, весьма важно установить природу так называемых туфовых песков, которые в Армении очень часто залегают под черными туфами, отделяясь часто от них тонким пемзовым прослоем. Такие же туфовые пески, под плотными туфами различных возрастов, известны и за пределами Армении, в частности, на Сев. Кавказе, на Дальнем Востоке [17], в Японии (Такеда) [19] и т. д.

Залегание прослая пемзы в несколько сантиметров наблюдается и под палеогеновыми пемзовыми туфами («туфо-пемзовыми аггломератами») в Сейфунском бассейне, в районе балок Козлинка, Кхож-куа Южного приморья [22]. Аналогичное явление имеет широкое распространение в четвертичных туфах и за пределами СССР (Нов. Зеландия, Калифорния и др. [10]). Пемзовые пески известны под туфами также третичного возраста и на Сев. Кавказе, в районе г. Нальчик и в других местах.

В Армении под черными туфами туфовые пески различной мощности известны в Приереванском, Октемберянском, Ленинаканском, Кироваканском, Галинском и др. районах.

Мощный пласт туфовых песков в Араратской долине образует водоносный горизонт, который по своему характерному минералогическому составу легко отбивается в разрезах скважин.

Почти всегда над туфовыми песками (или пемзовой мелочью) наблюдается прослой (от 0,2 до 1,0 м) рыхлых туфов, постепенно кверху уплотняющихся и переходящих далее в нормальные плотные туфы. Там же, где отсутствуют туфовые пески, толща еревано-ленинаканских туфов с самой подошвы начинается плотными разностями.

Прослой пемзы над туфовыми песками известен в разрезах Авана, Паракара, Собеташена, Еревана и др. Прослой пемзовой мелочи под туфами представляет явление весьма распространенное. Ряд наших и зарубежных исследователей занимался выяснением природы этого закономерного явления, однако, до последнего времени вопрос остался неразрешенным и, как отмечает А. Н. Заврицкий [9], «образование такой пемзовой подстилки под туфами и туфолавами еще недостаточно ясно» и требует дальнейшего изучения.

Путем исследования туфовых песков и пемзового прослоя над ними в полевых и лабораторных условиях нами установлена взаимосвязь этих образований с плотными сревано-ленинаканскими туфами; это обстоятельство вместе с тем характеризует палеогеографическую обстановку, в которой откладывались эти рыхлые породы.

Как показывают наши наблюдения, туфовые пески и прослой пемзы над ними в основании черных туфов приурочены обычно к участкам, занятым в прошлом неглубокими водоемами; действительно, эти рыхлые образования часто подстилаются озерно-речными галечниками или глинами и песками водного происхождения.

Граулометрический и минералогический анализы туфовых песков Советашенского и Кишлагского месторождений показали идентичность состава туфовых песков и вышележающей толщи туфа.

В нижеприведенной таблице 2 даются результаты анализа туфового песка, произведенного лабораторией петрографии и минералогии осадочных пород Института геологических наук АН Армянской ССР. Образец взят из нижней части карьера Советашенского месторождения туфа.

Таблица 2

Размер фракций в мм	> 1	1—0,5	0,5—0,25	0,25—0,05	0,05—0,01	< 0,01
Содержание фракций в %	13,82	4,15	14,97	34,01	21,15	11,39

Тяжелая фракция в нем составляет 3,84% (размеры зерен от 0,25 до 0,01 мм) и она представлена в основном авгитом, гиперстеном и магнетитом; легкая фракция выражена вулканическим стеклом и плагиоклазом (андезином).

Анализ туфового песка, залегающего в карьере Кишлагского месторождения Кироваканского района под туфами, произведенный в той же лаборатории, показал наличие в его составе мелких призм авгита и гиперстена, различного размера зерен магнетита и плагиоклаза, вулканического стекла и одного зерна кварца. Из аксессуарных—обнаружен апатит. Во фракции > 1 мм обнаружены частицы шлаковидного вещества и обломки лав.

Обращает внимание отсутствие в этих песках легкого пемзовидного вещества, характерного для туфов; отсутствие его вызвано обстоятельствами, о которых будет сказано ниже.

Примерно такой же результат показывают анализы туфового песка из различных месторождений туфа Ленинаканского и других районов Армянской ССР.

Сравнивая туфовые пески с черными туфами, залегающими часто над ними, мы видим, что они характеризуются почти одинаковым минералогическим составом.

Химический состав этих пород, как показывает таблица 3, также сходен.

Таблица 3

SiO ₂	Fe ₂ O ₃ +FeO	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O+K ₂ O	п. п. п.	Наименование породы
61,85	4,19	17,02	4,10	1,76	7,41	5,35 (и ост. окислы)	Туф. песок с горы Оугуглу
61,20	5,20	19,16	5,14	1,66	3,94	3,70	Туф. песок из Советашена
63,20	4,42	18,14	3,18	1,59	6,37	2,50	Черный туф из Советашена

Приведенные данные не оставляют сомнения в том, что черные туфы и туфовые пески в естественных условиях залегания являются продолжением друг друга. Эти образования органически и генетически связаны между собой и туфовые пески могут быть рассмотрены как песчаные разновидности черных туфов.

Судя по приведенным анализам и по содержанию более 50% фракции 0,25—0,01 мм, туфовые пески, а стало быть ереванско-ленинградские туфы, образованы главным образом из вулканического алеврита, с 10% вулканического пепла (целитовых частиц). Остальная часть туфов, по классификации А. Н. Заварицкого [7], состоит из псаммитовых частиц.

В свете приведенных данных можно представить условия образования туфовых песков, а стало быть и органически связанных с ними черных туфов.

Как указывалось выше, туфовые пески очень часто подстилаются озерно-речными отложениями: глинами, галечниками, песками и т. д., указывающими на возможность существования водоема тогда, когда откладывался продукт извержения—пирокластический материал.

Последний, представленный полувязкими вулканическими, стекловатыми частицами, раскаленными интрателлурическими минералами, обломками шлаковидного вещества и лав, пемзовыми частицами, попадая с воздуха в воду, остывал и постепенно переполнял неглубокие водоемы дезинтегрированными песками. В результате этого над дном, сложенным озерно-речными отложениями, накапливались слои туфового песка различной мощности.

Пемзовые частицы туфовых песков в бассейнах со стоячей водой, благодаря небольшому объемному весу, отсортировывались и вышывали на поверхность воды, образуя на воде плавающие пемзовые покровы, на подобие отсортированной плавающей пемзы, которая наблюдалась в Зондском проливе после извержения Кракатоа (1883 г.) и уносились далеко в Индийский океан.

Наблюдения показывают, что в древних речных долинах прослой

пемзы над туфовыми песками отсутствует (долина р. Памбак, Кишлагское туфовое месторождение и др.). Отсутствие пемзового прослоя в указанных условиях может быть объяснено тем, что при осаждении туфового материала отсортированная и всплывавшая пемзовая мелочь не сохранилась на поверхности воды и уносилась течением.

В озерах со стоячей водой туфовые пески, постепенно увеличиваясь в мощности, повидимому, доходили до пемзовых масс над водой, чем, вероятно, и объясняется часто наблюдаемое в обнажениях залегание прослоя пемзы над туфовыми песками.

Что же происходило с частицами, выпадавшими на поверхность земли или на пемзовые покровы, подстилаемые туфовыми песками в прежних водоемах?

В шлифах под микроскопом в черных туфах ясно видно спекание, сцепление отдельных мельчайших стекловатых частиц друг с другом, при отсутствии других цементирующих веществ в туфах. Несмотря на такое спекание, очертания частиц часто довольно ясно вырисовываются. Очевидно, после падения, основная масса пепловых частиц вулканического стекла, благодаря значительной своей температуре, находилась в той степени вязкости, когда при остывании стекловатые частицы, под влиянием охлаждения и давления вышележащих слоев, спекались и рыхлая масса вулканического материала превратилась в плотные черные туфы ереванско-ленинканского типа.

В таком именно виде нам представляется развитие хода явлений, в результате чего образовались плотные черные вулканические туфы, туфовые пески и прослой пемзы между ними.

Выше указывалось, что черные туфы в своей нижней части часто переходят в полурыхлые разности. Это явление наблюдается в особенности там, где под туфами залегают туфовые пески. В пределах древнего водного бассейна туфовый материал, повидимому, частично подвергся охлаждающему действию воды и образовавшихся паров ее в период отложения их над туфовыми песками; в этих условиях раскаленные частицы не могли полностью спекаться, в результате чего полуспекшийся туфовый материал возможно приобретал уже рыхловато-землистый вид.

Пирокластический материал, падавший и отложившийся в глубоких водных бассейнах, образовал сплошные толщи туфовых песков, мощные пласты которых и в настоящее время наблюдаются в разрезах ряда скважин Араратской долины, занятой, как известно, в четвертичное время озером.

Описанная органическая связь туфовых песков с ереванско-ленинканскими туфами бросает яркий свет вообще на физические условия и, в частности, на высокую температуру тех отложений пирокластического рыхлого материала, которые послужили исходным продуктом для покрытия значительных площадей в Армении ереванско-ленинканскими туфами.

Разнообразие в окраске туфов обязано главным образом различным условиям физико-химических процессов, имевших место в отдельных частях и слоях.

Таким образом, изучение ереванско-ленинаканских туфов Армении, наблюдения за геологическими условиями их залегания, исследование вещественного состава туфов и туфовых песков, анализ и сводка полученных данных дают достаточный материал, позволивший нам выяснить природу первоначального продукта и наметить процессы, в результате чего из него образовались толщи черных туфов.

Характер воздушного переноса туфового материала

Сейчас, конечно, затруднительно восстановить условия и картину того воздушного переноса пирокластического материала в четвертичное время, в результате чего образовались ереванско-ленинаканские туфы Армении.

Тщательное наблюдение за условиями залегания, а также внимательное изучение состава и строения черных туфов в известной степени дают материал для суждения о характере прошлого воздушного переноса того вулканического материала, из которого образовались ереванско-ленинаканские туфы.

Из карты распространения ереванско-ленинаканских туфов видно, что одни и те же разновозрастные черные туфы аналогичного минералогического состава и структуры занимают преимущественно равнинные части древнего рельефа и выступают в виде отдельных островков различных размеров, от небольших участков в 1—2 га, до полей в несколько сотен кв. километров.

Идентичные, одни и те же черные туфы наблюдаются на самых разных гипсометрических высотах. Так, в отдельных участках Приереванского района эти туфы наблюдаются на высотных отметках с разницей от десяти до 800 м. Одни и те же разновозрастные туфы наблюдаются на различных террасах р. Памбак. В Ленинаканском, Кироваканском и других районах Армении черные туфы наблюдаются также на самых различных топографических отметках.

Независимо от характера древнего рельефа и от того, где они находятся, мощность ереванско-ленинаканских туфов, за редкими исключениями, почти одинакова. Очень часто значительное уменьшение мощности их связано с размывом верхнего, и прежде всего, красного слоя туфов.

То обстоятельство, что черные туфы, залегают ли они в Приереванском или Кироваканском районе, внешне совершенно похожи друг на друга, разновозрастны по вещественному составу и структуре идентичны и имеют на десятках километров почти одну и ту же мощность, говорит о том, что эти туфы обязаны своим образованием единому вулканическому акту. Было бы неправильно и невероятно допустить, что туфовые продукты одинакового состава и в количествах, давших повсюду равномерной мощности черные туфы, извергались одновременно или разновременно из многочисленных вулканических центров. Об этом будет сказано ниже.

Приведенные выше данные говорят о том, что туфовая масса в начальный период, сейчас же после извержения, осаждалась по всей вероят-

ности на огромной площади приблизительно равномерным слоем в западной части Армении.

В последующий эрозионно-денудационный период слежавшиеся и уплотнившиеся туфы подверглись разрушению, размыву и эрозии. И в настоящее время останцы их сохранились лишь в тех преимущественно равнинных частях древнего расчлененного рельефа, где, после осаждения туфового материала, отсутствовали более или менее существенные эрозионные процессы. Там же, где по характеру рельефа имели место процессы размыва, туфы, как породы менее устойчивые, чем лавы, подвергались быстрому разрушению и размыву. Как известно, черные туфы в настоящее время отсутствуют на относительно крутых склонах древнего рельефа; отдельные останцы их, как указано выше, занимают площади в несколько сотен кв. километров (егвардское, шамирамское, кармрашенское, ленинаканское и др. поля); с другой стороны ерезано-ленинаканские туфы часто встречаются и в виде мелких участков, измеряемых единицами гектаров (Аргаванд, Шорагбюр и др.).

Черные туфы многочисленными отдельными останцами выступают в северо-западной части Армянской ССР на огромной площади. Суммарная площадь сохранившихся на ней останцев составляет не более 1/5 первоначальной.

Изучение шлифов ереванско-ленинаканских туфов под микроскопом обнаруживает спекание стекловатых частиц; оно показывает, что осколки вулканического стекла, спаянные между собой, сохраняют почти всегда свои очертания и явления, сплавления* в них не наблюдается. Иначе говоря, легкоплавкие частицы свежес выпавшего вулканического материала (стекла) у черных туфов находились в той степени вязкости, при которой, не обладая существенной способностью течь, туфы, наподобие снежных покровов, сохранились тонким покровом и агглютинировались на поверхности.

Наблюдения показывают, что нередко в пониженных частях рельефа мощность ереванско-ленинаканских туфов несколько больше, чем на склонах: это явление может быть объяснено сползанием с относительно крутых склонов еще незатвердевшего свежего покрова туфовой массы в начальный период ее отложения; это, повидимому, сопровождалось сносом делювиального обломочного материала, который нередко наблюдается в наших туфах.

Таким образом, изложенные выше факты указывают на наиболее вероятный характер воздушного переноса вулканического материала, из которого образовались черные туфы Армении; в результате сильнейшего эксплозионного извержения было выброшено огромное количество пирокластических продуктов; на подобие обильного снегопада (огненного

* Под «сплавлением» понимается остывание слившихся частиц стекла, находящихся сейчас же после выпадения еще почти в жидком расплавленном состоянии, при котором после остывания трудно различаются очертания отдельных частиц.

ливня) эта масса плащеобразно покрыла небольшим, но равномерным слоем туфа громадную территорию с пересеченным рельефом.

В Советском Союзе нам не известны такие четвертичные туфовые образования, которые находились бы в тех же условиях залегания и характеризовались теми же физико-химическими качествами, что и еревано-ленинканские туфы. Но за пределами СССР, хотя и редко, они имеются. В частности, туфы (игнимбриты) к западу от Йеллоустонского парка, в юго-восточном штате Айдахо, по характеру залегания напоминают наши; они покрывают неровную топографическую поверхность относительно таким пластом, мощностью 6—15 м, встречаясь на весьма различных высотах, с разницей высот до 1000 м и даже несколько больше [9].

В иных условиях протекал воздушный перенос туфового материала при образовании игнимбритов в ряде других зарубежных стран. Так, раскаленные тучи Мон-Пеле на острове Мартиники распространялись лишь на сравнительно небольшой площади, но весьма вытянутой по направлению движения лавины. Как известно, этот тип извержения Лакруа отнес к раскаленным облакам направленного (нисходящего) взрыва, образованным от раздробления весьма подвижной лавины раскаленной массы под действием газов и стремительного движения, как это имело место при извержении Мон-Пеле в 1902 и 1932 гг.

Сравнивая условия залегания еревано-ленинканских туфов и аналогичных образований Аляски (извержение Катман в 1912 г.), мы приходим к выводу, что характер воздушного переноса, при котором образовались туфы обеих областей, был различен.

В самом деле, в Катман «раскаленные тучи» поднимались одна за другой из многих трещин, которые открылись в долине; при этом поток очень подвижной, раскаленной, частично газовой «эмульсии» вылился плоско и, когда вся эта масса осела, то из долины образовалась равнина песчаного туфа, занявшая 190 кв. км поверхности. Широкое дно долины было покрыто туфом мощностью до 35 и более м. Трудно полагать, что характер извержения, давшего плащеобразный покров черных туфов Армении, был бы аналогичен типу извержения Катман в 1912 г. и, прежде всего, потому, что на Аляске раскаленные туфы, потоки раскаленного песка в виде текучей «эмульсии» заполнили долину с довольно расчлененным рельефом, превращая его в ровную с тысячами fumarолами «долину десяти тысяч дымов» типа базальтового плато.

Риолитовые туфы Северного острова Новой Зеландии (плиоцен-плейстоценового возраста), судя по описаниям, по внешнему виду и структуре несколько напоминают еревано-ленинканские туфы, имея однако значительно большую мощность. Но и здесь мы имеем форму поверхности, сходную с Катмайской, напоминающую плато из базальтовой лавы, потоки риолитового пирокластического материала, выброшенного по видимому также в виде раскаленных песков—эмульсии,* заточили—

* Смесь пыли, летучих и других вулканических продуктов, ведающая себя подобно жидкости.

заполнили долину и полностью погребли под собой древний рельеф. Таким образом, и здесь нужно полагать, что условия залегания и физико-химическая природа вулканических продуктов, а стало быть и характер воздушного переноса, образовавшие игнимбриты Новой Зеландии, были иные, чем при образовании туфов ереванско-ленинканского типа.

Такая же картина наблюдается и в ряде других областей. Так, по сведениям А. Н. Заварицкого [8, 9] и Коттона [13] бишопские туфы (Калифорния) мощностью до 500 м образуют значительную ровную поверхность ок. 1000 кв. км, несмотря на резкую пересеченность погребенного рельефа. В Сев. Суматре, в районе оз. Тоба, огромная масса игнимбрита разбросана на площади с довольно резким рельефом и образует совершенно ровную поверхность. Повидимому во всех перечисленных случаях характер извержения и физико-химическая природа выброшенного материала были аналогичны катмайским и в известной степени отличались от характера извержения и природы вулканического материала, превратившегося потом в черные туфы Армении.

К сожалению, мы не знаем условий, характера извержения и физического состояния первоначального пирокластического материала, из чего образовались неллоустонские породы. Судя по тому, что игнимбритовый материал в Катмае, Новой Зеландии и других провинциях заполнял неровности древнего рельефа, надо полагать, что в перечисленных областях туфовая масса, после отложения на поверхности, еще находилась в подвижном состоянии, или вообще обладала способностью течь в виде эмульсии благодаря высокой температуре. Первоначальный же материал, из которого образовались черные туфы Армении и, повидимому, неллоустонские породы, надо полагать, что выпадал на значительно больших площадях и, не обладая способностью течь, он, подобно снегу, сохранился тонким покровом и агглютинировался из всей поверхности. В таком случае надо думать, что температура продукта извержения при образовании четвертичных туфов Армении была несколько ниже температуры той массы, из чего образовались туфы Катмайского типа.

Как известно, игнимбриты Новозеландского типа обычно характеризуются столбчатой отдельностью. В черных же туфах Армении, с относительно низкой температурой исходной массы, эта особенность наблюдается значительно реже; наши туфы преимущественно представлены глыбовой отдельностью.

Тип вулканизма

Как известно, черные туфы Армении, где бы они ни залегали, характеризуются своей темной (черной, темнокоричневой и темносерой) окраской и лишь кверху приобретают оранжево-красноватую окраску, обязанную, как сказано выше, окислительным процессам, вызванным непосредственным соприкосновением еще горячего верхнего их слоя с кис-

лородом воздуха. Переход красноватых оттенков туфа в серовато-черную происходит постепенно. Мощность красных туфов редко превышает 1 м, но иногда, ближе к вертикальным трещинам, красноватая окраска наблюдается и глубже. То обстоятельство, что еревано-ленинаканские туфы в своей верхней части переходят в красные, а вся масса до подошвы сложена черными (темносерыми) туфами, говорит о весьма быстром, почти о непрерывном процессе извержения и оседания туфового материала с воздуха; иначе черные туфы, в перерывах, под влиянием продолжительного соприкосновения с воздухом, приобрели бы красноватый оттенок и в единой пачке наблюдалось бы чередование красных и черных туфов. Наблюдения за Камчатскими вулканами [6] показывают, что процесс извержения здесь ограничивается не одним актом, а непрерывными взрывами, наблюдаемыми через каждые 5—6 часов, или же чаще, сопровождаемыми выбросами громадного количества горящего вулканического газа и рыхлых продуктов, продолжающимися в течение месяцев (по Грейтону [5]—тип среднечастотных ритмов вулканизма).

Таким образом, мы приходим к выводу, что вулканические продукты, представленные раскаленной стеклянной пылью, вместе с горячими и с более крупными интрателлурическими минералами и обломками различных пород, порождавшие наши туфы еревано-ленинаканского типа, были выброшены взрывной силой в весьма короткий промежуток времени и ими была покрыта равномерным слоем вся поверхность громадной территории. Этот тип вулканизма может быть отнесен к высокочастотным ритмам, при котором процесс протекает в действующем канале, с магмой, довольно богатой летучими.

Выше указывалось, что отложение пирокластического материала на громадной площади равномерным слоем обязано скорее всего ливневому типу извержения, т. е. его можно рассматривать, как продукт вулканического огненно-фонтанирующего ливня. Подобные или близкие к извержениям этого типа явления имели место в недавнем прошлом в ряде мест.

Так, в Исландии (1783 г.) из трещины Лаки длиной в 35 км таким образом было выброшено громадное количество вулканической мелочи («скорна»).

В Новой Зеландии (извержение Тараверы) в 1886 г. было выброшено огромное количество пирокластического материала из «непрерывных» трещин (разломов) [13].

Продуктами извержения Тараверы являлись вулканический песок и пепел, пузырьчатые пористые частицы стекла или пемзовые лапилли и бомбы, которые вместе с обломками пород стенок канала, отсортированные во время переноса их через атмосферу, покрывали громадные площади к СВ от Тараверы.

Максимальная мощность накопления грубых и крупных обломков близ трещин достигла 80 м; в районе распространения мелких фракций слой агглютированного туфа значительно меньше.

По данным Коттона [13] подобного типа извержения имели место и

в других областях Новой Зеландии: извержение магмы риолитового состава в окружении оз. Таупо, где огненно-пепельный дождь покрыл плотным слоем площадь в 3000—4000 кв. км и т. д.

Чтобы иметь представление о высоте извержения вспомним извержения камчатского вулкана Авачи в 1938 г. По описанию Б. И. Пийпа [20] столб «испещренный молниями и прорезываемый искрящимися фейерверками вылетающих бомб, поднимался над кратером на высоту до 4—5 км».

По наблюдениям С. П. Главццкого и И. И. Лагунова [4] над извержением того же вулкана в 1945 г. вулканические продукты выбрасывались из кратера на высоту более 7 км.

По некоторым данным [13] при катастрофических взрывах типа Кракатоа материал выбрасывался еще выше—в стратосферу; при этом затрачивалась колоссальная кинетическая энергия, полученная из внутреннего тепла. Тем больше должна была быть кинетическая энергия (количество тепла), затраченная для сверхкатастрофических взрывов, давших в кратчайший промежуток времени выброс грандиозного количества вулканических продуктов для образования плащеобразного покрова черных туфов Армении.

Каждый вид эксплозионного извержения, в зависимости от различных факторов, создает своеобразные условия залегания вулканического продукта на поверхности земли.

Из вышеприведенного анализа вытекает, что извержение, породившее ерезано-ленинканского типа туфа, вряд ли относилось к пелейскому или катмайскому типу. Извержение туфового материала в Армении, повидимому, сопровождалось выделением огромного количества паров, раскаленных газов, вулканических продуктов и тепла, при которых, несмотря на колоссальную траекторию движения частиц в воздухе, они выпадали на поверхность около 10000 кв. км еще в раскаленном и в значительной своей части в полувязком, размягченном состоянии.

При выпадении пепла и вообще пирокластических частиц из верхних слоев атмосферы, в зависимости от количественного соотношения между ними и раскаленными газами, частицы могут сохранить такую температуру, при которой они выпадут еще горячими, как в случае «дождя» Таупо (250° С). В отдельных случаях мы полагаем возможным, что частицы, после падения, могут оставаться настолько горячими и стекловатая часть их может сохранить такую вязкость, при которой пирокластический материал при остывании может агглютинироваться на поверхности земли и превратиться в твердую породу. Таким образом, нам представляется, что именно в таких условиях, в результате огненного ливня вулканических частиц, на одной трети территории Армении отложился пирокластический материал, агглютинировавшийся впоследствии в черные туфы Армении. То же самое имело место, вероятно, в юго-восточном Айдахо, где образовались такие же плотные туфы, покрывшие в первоначальный период почти всю местность 7—10 метровым слоем.

Тип извержения

К какому же типу—центральному, трещинному или ареальному (многовыходному)—относится извержение, давшее в результате четвертичные ереванско-ленинаканские туфы, имеющие широкое распространение в западной части республики?

Какие фактические данные могут помочь нам разрешить этот вопрос?

Для правильного решения этой задачи имеет важное значение учет следующих обстоятельств:

1. Все черные туфы по своему механическому и минералогическому составу, структуре, цвету и другим морфологическим и физическим свойствам, независимо от района залегания, единовозрастны и почти ничем не отличаются друг от друга.

2. Черные туфы и связанные с ними туфовые пески выступают на площади массива г. Арагац лишь в западной части территории Армянской ССР. Во всяком случае, восточнее меридиана Приереванского района, восточнее линии Дилижан—Веди ереванско-ленинаканские туфы нигде не обнаружены. На западе, в пределах Турции, черные туфы, судя по литературным данным, также имеют некоторое распространение.

3. Несмотря на многочисленные шлаковые конусы на площади распространения описываемых туфов и за ее пределами, покровы одновозрастных ереванско-ленинаканских туфов до сих пор геологически не удалось привязать к какому либо центру, за исключением разве только арийских пемзовых туфов. Попытка рассматривать черные туфы некоторых частей общего покрова, как продукт извержения отдельных центров на территории республики, научно не обоснована; эти части органически связаны с целым покровом совершенно однородного и одновозрастного вулканического туфа и они, вероятно, обязаны своим происхождением одной вулканической системе, вернее, системе одновременно действующих трещин.

Наличие черных туфов вокруг шлаковых конусов (Ошакан, Нахутата и т. д.) не указывает на них, как на место извержения туфового материала. В противном случае туфы должны были здесь иметь более грубо-обломочное сложение; между тем известно, что черные туфы у шлаковых конусов по своему сложению и составу ничем не отличаются от тех же туфов, залегающих на расстоянии десятков километров.

Пространственное распределение и размер площади отложения продуктов вулканического взрыва зависят прежде всего от силы взрыва. В. Ф. Подков [21], наблюдавший за деятельностью вулкана Бюлякай, отмечает, что уже на расстоянии больше 1 км отложившийся вулканический материал состоял из пепла, песка и лапилли. В иных случаях, конечно, может получиться другая картина. Исходя из того, что мощность продуктов выбросов обратно пропорциональна расстоянию от места взрыва, а мощность наших черных туфов по всей Армении примерно одинаковая, и, с другой стороны, учитывая однородность состава и строения туфов, трудно допустить, что источники извержения туфового мате-

риала находились бы в Армении в пределах контура распространения черных туфов; иначе здесь должны были наблюдаться в них постепенные переходы от крупных фракций к мелким, каковое явление не имеет места. Можно допустить, что эти эруптивные каналы находятся за пределами распространения площади туфов и может быть в Северной Армении, из западе, за пределами Армянской ССР, что, конечно, подлежит уточнению. Во всяком случае сейчас нет достаточного материала для окончательного решения этого вопроса.

Неправильно было бы допущение, что это огромное количество выброшенного рыхлого материала (более 100 куб. км в пределах Армении) в течение очень короткого промежутка времени было бы обязано деятельности какого-нибудь одного вулканического конуса. Обломочный вулканический материал, объемом в 100 куб. км—это колоссальная величина.

Известное извержение вулкана Тараверы (Новая Зеландия), выбросившее в 1886 г. вулканический материал, впоследствии агглютинировавшийся и перешедший в туфы, происходило из систем трещин в 35 км длиной («рифтов»). Выброшенная масса по объему измеряется 3—4 куб. км.

Гораздо больше вулканического продукта указанного типа было выброшено из трещины (разлома) Лаки (Исландия) в 1783 г. Нам представляется мало вероятным, чтобы вулкан центрального типа мог бы в течение весьма короткого промежутка времени выбросить обломочный материал, объемом не менее 100 куб. км. Вообще такое количество пирокластических продуктов в течение короткого промежутка времени могло выброситься только из разломов, или из системы трещин, при громадной силе извержения.

Физико-химические процессы и механизм извержения

Какие должны были происходить физико-химические процессы и каковы должны были быть условия в магматическом очаге и вулканическом канале, в результате чего могли бы образоваться подобного типа извержения и вулканические продукты выбросов, породившие наши черные туфы?

Мы постараемся разъяснить эти явления лишь в самых общих чертах.

Как известно, в магме любого состава летучие (вода и газы) образуют существенную часть ее. По мнению ряда вулканологов, основанному на исследованиях и наблюдениях над выделяющимися из вулканов газами, полный вес летучих в магме может составить от долей процентов до, примерно 10% веса магматического расплава. Летучие вещества в глубоких недрах находятся в магме в растворенном состоянии, под огромным давлением в тех случаях, когда магматическая камера находится на очень большой глубине. С другой стороны, высокое давление газов может порождаться и на относительно небольшой глубине. Лакруа [13], изучая явления „*puées ardentes*“ на о. Мартиники, находит возможным, что в процессе кристаллизации расплава стекла, пары

растворенной воды, вместе с другими газами, как бы выталкиваются из него; при наличии газоупорных стенок вулканического канала может происходить постепенная концентрация (скопление) летучих, порождающая высокое давление, достаточное иногда для извержений значительной силы. Исследования, проведенные Горансоном, также указывают на возможность появления давлений, развивающихся при этом и достигающих нескольких тысяч атмосфер.

Так как вулканические извержения последнего типа с относительно небольшой глубины могут выбросить лишь ограниченное количество вулканических продуктов, то можно предполагать, что при извержении грандиозного количества вулканического материала, происшедшем в весьма короткий промежуток времени и породившем еревано-ленинканские туфы, магматическая камера находилась скорее всего на большой глубине. Кроме того, судя по степени измельченности рыхлых пирокластических продуктов, являющихся, главным образом, производной вязкой магмы, и по ряду других соображений, надо полагать, что указанное извержение принадлежало к сильнейшим взрывам.

Горячие вулканические газы диффундируют из нижних слоев в верхние части и при восхождении их к уровням меньшего давления расширяются, охлаждаются и постепенно освобождаются из растворенного в магме состояния. В конечном итоге процессе движения магмы вверх и вызывается, главным образом, этим расширением растворенных в ней летучих, которые при уменьшении давления газов стремятся занять больший объем.

Постепенное освобождение и расширение флюидов из жидкой расплавленной магмы (по мере ее восхождения) происходит примерно с геометрически прогрессирующей скоростью и интенсивностью. Приведенная ниже таблица 4, заимствованная у Грейтона [5], для магмы с содержанием 9,49% летучих (по весу), показывает изменение количественного соотношения (в объемных %) расплава и газа по мере восхождения их снизу вверх; вместе с тем кривая, составленная на основании данных таблицы, дает некоторое представление также о скорости восходящей массы на различных глубинах.

Таблица 4

Глуб. в км		
40	Расплав в объеме, %	100,00
20		96,71
10		88,77
5		71,45
2		33,76
1		17,35
0,5		8,73
0,25		4,43
0,1		1,81
0,02		0,48
Поверх.	Газ в объеме, %	99,52

Приведенные цифры показывают, что объемное отношение газов к расплаву на поверхности равно 1250:1. Весовое соотношение этих компонентов составляет 1:9.

Это громадное расширение газов по сравнению с тем объемом, каким они обладали в магматическом очаге, вызывает в поступательном их движении вверх понижение температуры самих газов и расплавленного силикатного вещества, что, в свою очередь, в значительной степени повышает его вязкость и тем больше, чем больше содержание газа в единице объема расплава. Ближе к дневной поверхности получается значительное охлаждение всей вулканической массы, вызывающее еще большее повышение вязкости вследствие потерь тепла: скрытой теплоты, адиабатического охлаждения, падения температуры от перехода тепла в кинетическую энергию; последняя идет, главным образом, на ускорение подъема, раздробление отдельных глыб твердых пород стенок канала и извержение этого материала высоко над жерлом в воздух и т. д.*

Надо отметить, что одновременно с потерей, в процессе извержения имеет место и некоторое развитие теплоты. Она возникает в вулканическом канале благодаря внутреннему трению восходящей магмы и трению о стенки канала, в особенности в самой его верхней части, где преобладают большие скорости движения. Кроме того, хотя имеются возражения со стороны некоторых исследователей, но большинство вулканологов, и в частности А. Н. Заварицкий, придают большое значение экзотермическим реакциям между газами, выделяющим при извержении некоторое количество тепла.

Приобретение черными туфами красной окраски в поверхностных слоях после их отложения, воспламенение газов в воздухе при извержении магматических и грязевых вулканов и ряд других фактов, действительно, подтверждают явления экзотермических реакций между газами (выделяющимися при извержении) и кислородом воздуха.

Вязкая от расширения газов и охлаждения стекловатая масса в вулканическом канале при понижении давления приобретает способность вспучиваться; газы не в состоянии свободно выделяться, как это происходит в жидкой магме. Поэтому вязкое стекло по мере восхождения может вздуться настолько сильно, что при дальнейшем расширении пузырьков газа давление его на некоторой глубине достигает своего предела и станет достаточным, чтобы эксплозивно разрушить эту вязкую пенную массу.

В свете этих данных механизм извержения, породивший ереванско-ленинкандские туфы, нам представляется в следующем виде.

Колоссальное количество летучих, находившихся в магме в растворенном состоянии и под огромным давлением, при восхождении к уровням меньшего давления вспучивало ее. Под влиянием освобожденного газа охлажденная, вязкая и вспученная масса, со взвешенными интра-

* Л. К. Грейтон [5] считает вероятным, что в вулканах, извергающих магму с высоким содержанием летучих, при подъеме ее из очага к кратеру, может произойти охлаждение магматической системы до 500° С.

теллурическими минералами и материалом раскола и обвала стенок канала, с громадной силой была эксплозивно выброшена высоко над вулканическим выходом.

Громадное количество выброшенного материала указывает на большую глубину магматической камеры, где произошел взрыв.

Взрыв и выброс пирокластического материала произошел в короткий промежуток времени (из разломов или системы трещин, находящихся, возможно, вне территории Армении), почти непрерывно, в результате чего окислительному действию кислорода воздуха подвергся лишь верхний слой осажденной туфовой толщи.

Продукты выброса в виде разной дробности магматических обломков, комков лемзы, лапиль, вулканического песка, пыли (пепла), а также материала дробления более древних пород, выпадали, на подобие огненного ливня, на громадную территорию, образуя плащеобразный покров толщи, агглюнтирующейся впоследствии в туфы ереванско-ленинканского типа.

Выброшенный из глубоких недр раскаленный вулканический материал, а также громадное количество горящих в воздухе газов, создали благоприятные температурные условия для пелловых частиц на поверхности, при которых происходило спекание полувязких стекловатых частиц при охлаждении рыхлой массы и переходе их в плотные туфы.

Весовое количество летучих в магме при этом составляло, повидимому, от 5 до 8% всей массы.

Меньшее количество содержания летучих не вызывало бы пенообразования, т. к. в этом случае в канале из-за высокой температуры массы магматический расплав был бы настолько жидким, что создались бы благоприятные условия для свободного выделения газов, что, в свою очередь, вызвало бы просто лавовое излияние.

Допустить большее содержание летучих в магме, порядка 9—10 и более процентов, также было бы необосновано, так как в таком случае, по законам физической химии, получилось бы сильное охлаждение вспученного силикатного раствора, что в весьма короткий промежуток времени могло бы вызвать затвердение его в верхней части канала, в результате чего процесс извержения должен был оборваться и произошла бы самозакупорка извержения.

О температуре свежеосевшего туфового материала

В заключение, пользуясь некоторыми прямыми и косвенными показателями, перейдем к вопросу о температуре свежеосевшей вулканической массы, явившейся исходным материалом для образования туфов ереванско-ленинканского типа.

Для разрешения этой задачи рассмотрим ряд положений, который может пролить свет на природу интересующего нас явления.

1. Основная масса указанных туфов представляет осколки пемзовидного стекла (пепла). Температура их была такой, при которой эти частицы находились в той степени вязкости, что при дальнейшем (после

осаждения) охлаждении происходило спекание их. Однако частицы пепла сохранили свое первоначальное очертание.

Начало процесса уплотнения туфов происходило, повидимому, при температуре значительно меньшей, чем 900° , при которой уже должно было наблюдаться «сплавление» стеклянных осколков и переход туфов в породы, макроскопически очень похожие на текучие (лотожи) лавы или обсидианы, обычно отличимые от них под микроскопом. Действительно, некоторые натриевые стекла и, в частности, натриевый обсидиан, при температуре около 600° , размягчается; начиная от 600 до 660° вспучивает, а при 900° — плавится. Судя по многочисленным химическим анализам, черные туфы Армении могут быть отнесены к натриевым. Отсюда можно предположить, что температура свежесыпавшей массы находилась в пределах от 660 до 800° С. При более высоких температурах в туфах наблюдались бы явления «сплавления» стекловатых-пепловых частиц, чем характеризуются, повидимому, некоторые ипимбриты, в частности, ипимбриты района оз. Тоба (Суматра), которые раньше (долгое время) принимали за риолит.

2. Наблюдаемые в еревано-ленинаканских туфах коррозии («изъеденность»), сотовая или скелетная текстура в кристаллах андезина не могут характеризовать температурные условия свежесыпавшего материала. Взвешенные в магме кристаллы андезина и пироксена (интрателлурические минералы) образовались в глубоких недрах магматического очага при высоких температурах и давлениях. Явление же коррозии — оплавления находящихся в магме кристаллов — происходит в нижней части вулканического канала, при более низких температурах, чем температура магмы глубоких недр и несколько ослабленном давлении.

3. Для определения искомой температуры мы придаем очень важное значение красноватой окраске, которую приобрели верхние слои черных туфов в Армении. Это явление, как отмечалось выше, связывается с переходом значительной части закиси железа в окись, свежесыпавшей массы под влиянием окислительного действия достаточного количества кислорода воздуха при определенной температуре. Так как указанная реакция по данным Б. Г. Карпова, Ю. Н. Книпович и Ю. В. Мурачевского* происходит при температуре от 600 до 700° С, то есть основание предполагать, что температура первоначальной массы, уплотнившейся и перешедшей в туфы еревано-ленинаканского типа, находилась в пределах не ниже 600 — 700° С.

4. Для характеристики нижнего предела температуры первоначальной туфовой массы небезинтересно вспомнить, что древесина обугливается при 250° . В армянских туфах нигде не было обнаружено углистых следов или остатков обожженных костей. Находка костей млекопитающих в Аванских карьерах приурочена к нижнему слою туфов, подверг-

* «Анализ минерального сырья» (Сборник методов химанализов) ОНТИ, Ленинград, 1936.

шему, вероятно, при отложении вулканического материала, некоторому охлаждающему действию паров воды (судя по подстилающим туфовым пескам и галечникам).

5. Для решения вопроса о температуре свежевыпадавшей массы, из которой образовались туфы еревано-ленинканского типа, небезинтересен анализ литературных данных и наблюдений исследователей зарубежных стран и сравнение этих данных с выводами, к которым мы пришли. Коттон [13], по данным Козу, указывает на то, что температурные наблюдения над пемзовыми потоками, выпадавшими из „*puces argentées*“ в Японии, через 8—11 дней после извержения показывают в среднем цифру 360°C на глубине 0,4 м.

Вычисленная Маршаллом температура, при которой «раскаленные тучи» вырывались в Новой Зеландии, образуя игнимбриды, была порядка 1000° . По данным Перре температура раскаленной лавины при извержении из о. Мартиники, в 1902 г., была ниже точки плавления меди (1058°), но достаточно высокая, чтобы стеклянная бутылка размягчилась ($650\text{—}700^{\circ}$).

Таким образом, температура свежесевших масс, послуживших материалом для образования зарубежных игнимбридов, получается порядка 800 до 1000° ; при этих условиях натриевое вулканическое пемзовидное стекло (пепел) находится или в расплавленном состоянии или на границе плавления. Поэтому возможно, что часть указанных игнимбридов представляет в основном «сплавленные» породы. Температура же осевшей массы, из которой образовались спекшиеся туфы еревано-ленинканского типа, не несущие признаков «сплавления», конечно, должна быть ниже указанных. На основании вышеприведенных данных эта температура, по видимому, была в пределах $650\text{—}900^{\circ}\text{C}$, т. е. около 750°C . При этой температуре натриевое вулканическое стекло (частицы пемзы) может быть в таком размягченном (вязком) состоянии, при котором возможно было спекание полутвердых частиц стекла друг с другом.

В описанной последовательности и условиях нам представляется в общих чертах весь сложный ход физико-химических процессов, которые происходили с магмой от глубинного очага до образования из нее плотных туфов еревано-ленинканского типа.

Институт геологич. наук
Академии наук Армянской ССР

Представлено 4 VI 1951

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Абиш Г.—Геология Армянского нагорья. Западн. часть. Орoграфическое и геологическое описание. Записки Кавказского отдела император. Русского географ. общества. Книжка XXI. Пятигорск, 1899.
2. Гамбарян П. П.—Геолого-петрографический очерк района средней Зангу.

- Бассейн р. Зангу, ч. 2. Геолого-гидрогеологические очерки. Труды сов. по изучению природных ресурсов (СОПС). Серия Закавказская, вып. 10, 1934.
3. Гинсберг А. С.—Петрография республики Армении. Петрография СССР, сер. 1. Региональная петрография, вып. 2. Ленинград, АН СССР, 1934.
 4. Глазницкий С. Н. и Лагунов И. И.—Извержение вулкана Авачи 25 II 1945 г. Изв. Всесоюз. географ. общ., т. 78, вып. 3, 1946.
 5. Грейтон Л. К.—Предположение о вулканическом тепле. Перевод с англ. «И. Л.» Москва, 1949.
 6. Дидерих Ф. М., Кулаков В. С. и Святловский А. Е.—Паразитические кратеры Ключевского вулкана, возникшие в 1932 г. Труды Камчатской вулканологической станции. Москва—Ленинград, вып. 2. Изд. АН СССР, 1948.
 7. Заварицкий А. Н.—Некоторые вулканические породы окрестностей Ключевской сопки на Камчатке. Зап. Российск. минералог. общ. № 2, 1931.
 8. Заварицкий А. Н.—Некоторые черты четвертичного вулканизма Армении. Известия АН Армянской ССР (естественные науки), № 5—6, 1944.
 9. Заварицкий А. Н.—О некоторых данных вулканологии в связи с изучением четвертичных туфов и туфолов Армении. Известия АН Армянской ССР (естественные науки), № 10, 1946.
 10. Заварицкий А. Н.—Испимбриты Армении. Известия АН СССР, геологические науки, № 3, 1947.
 11. Залесский Б. В. и Петров В. П.—Арктическое месторождение туфовых лав. Труды Петрограф. инст. АН СССР, вып. 1, 1931.
 12. Иванчик-Писарев А. А.—Месторождение Арктической туфовой лавы. Труды Института прикладн. минералогии, Москва, 1930.
 13. Cotton C. A.—Vulcanoes as Landscape Forms, London, 1944.
 14. Лебедев П. И.—Вулкан Алагез и его лавы. Алагез (потухший вулкан Армянского нагорья) т. 1. Труды Совета по изучению произв. сил. Серия Закавказская, вып. 3, Ленинград, 1934.
 15. Лодочкиков В. И.—Краткая петрология без микроскопа. ОНТИ НКТП СССР, Москва—Ленинград—Новосибирск, 1934.
 16. Малеев Е. Ф.—Пелловые туфы Сейфунского бассейна. Вестник ДВ фил. АН СССР, № 28 (1), Москва, 1938.
 17. Минева Е. Ф.—Снадинское месторождение туфов. «Разведка недр», № 8—9, Москва, 1938.
 18. Мириманов Х.—Ископаемые почвы в ССР Армении. «Почвоведение», № 5—6, 1932.
 19. Паффенгольц К. Н.—К вопросу о возрасте и генезисе туфов Армении. Стратиграфия четвертичных лав Восточной Армении. Зап. Минералог. общ. № 2, Ленинград, 1934.
 20. Пайн Б. И.—О раскаленных агломератовых потоках Авачи и о типе извержения этого вулкана. Бюлл. вулканолог. станции на Камчатке, АН СССР, Москва—Ленинград, № 2, 1946.
 21. Попков В. Ф.—О деятельности Бюлякая в 1938—1939 гг. «Бюллетень вулканолог. ст. на Камчатке». АН СССР, М—Л, № 12, 1946.
 22. Фаворская М. А.—Третичные туфолавы Южного приморья. Изв. АН СССР, Серия геологическая, № 5 (IX—X), 1949.
 23. Фиолетова А. Ф.—Исследования причин разнообразной окраски арктических туфов. Труды ВИМС*, № 35, 1—14, 1931.
 24. Числиев Д. Г.—Арктические строительные туфовые лавы и конструкции из них. Изд. Института прикл. минералогии, Москва, 1932.

Ա. Ի. ՄԵՍՐՈՊՅԱՆ

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ԶՈՐՐՈՐԴԱԿԱՆ ՏՈՒՖԵՐԻ ԾԱԳՄԱՆ ՄԱՍԻՆ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ի Մ

Հայաստանի չորրորդական հասակի հրաբխային տուֆերի միներալոգիական և պետրոգրաֆիական կազմության, քիմիական բաղադրություն, ինչպես նաև տեղագրման գեոլոգիական պայմանների ուսումնասիրությունը թույլ է տալիս այս կամ այն չափով լուծելու Հայաստանում լայն տարածում ունեցող այսպես կոչված երևանա-լենինականյան (սև) տուֆերի ծագման վերաբերող մի շարք հարցեր:

Դաշտային և լարճատար ուսումնասիրությունները դույզ են ավել, որ տուֆային ավազները և նրանց վրա տեղադրված պեմզայի շերտերը, որոնք հաճախ զանվում են սև տուֆերի տակ, իրենց ծագումով պարտական են ժայթքմանը և շրկադած տուֆային մատերիայի նստեցմանը ջրային ավազանում: Դրա հետևանքով հատկում, որը կազմած է լճա-դետային նստվածքներից, կուտակվել են տարբեր հզորություն տուֆային ավազների շերտեր, որոնք միներալոգիական և քիմիական տեսակետից չեն տարբերվում սև տուֆերից:

Շնորհիվ արտավիժած մատերիայի բարձր ջերմաստիճանի և, հետևապես, ազակյա մասնիկների կիսանեղուկ վիճակի, երկրի մակերեսի վրա այդ մասնիկները սառեցման ժամանակ ձուլվել են: Հետագա շերտերի ճնշման տակ այդ տուֆային կիսանեղուկ մասսան սառել է, վերածվելով երևանա-լենինականյան խիտ տուֆերի:

Տուֆային մատերիայը, որից առաջացել են Հայաստանի սև տուֆերը, ժայթքման ժամանակ գրավել է հսկայական մակերես շուրջ 10000 քառ. կմ և ձյան ծածկոցի նման հովասարաչափ շերտով պահպանվել է երկրի մակերեսի վրա, առանձին կղզիների ձևով: Հետագայում զգալի մասը (մինչև 0,7—0,8) ենթարկվել է լվացման և տեղափոխման:

Տուֆերը պահպանվել են միայն հին սևլեֆի հարթավայրային մասերում, որտեղ գրավել են կուտակման երևույթներ:

Ուրիշ պայմաններում են տեղադրված իզնիմբրիաներ կոչված տուֆերը Մովսեսական Միության ուսմաններից դուրս, ինչպես օրինակ՝ Կատամայում, Նոր Զելյանդիայում, Կալիֆորնիայում, Բնայոնիայում և այլն (բացի Ինդոստանակի պարիք, որտեղ տուֆերը գտնվում են այնպիսի պայմաններում, ինչպես մեզ մոտ): Իզնիմբրիաների սկզբնական մասան էմուլայայի ձևով լցրել է անհարթությունները, հեղեղել է ուժեղ կերպով կարտված հին սևլեֆի և առաջացրել բազալտային ծածկոցների տիպի սևլեֆ: Մի շարք փաստեր, ինչպես օրինակ այդ տիպի տուֆերի նմանությունը ամենուրեք, և այլ փաստեր ապացուցում են, որ տուֆային մատերիայի ժայթքումը տեղի է ունեցել չափազանց կարճ ժամանակի ընթացքում:

Ինչպիսի ժայթքման արդյունք են արդյոք Հայաստանի սև տուֆերը՝ կենտրոնական, արեալ (բազմակրատերային) թե ճեղքվածքային:

Այդ հարցին պատասխանելու համար պետք է նկատի ունենալ, որ դուրս մղված տուֆային մատերիայի այդպիսի հսկայական զանգվածը

(մտտ 100 խոր. կմ) շատ կարճ ժամանակի ընթացքում կենտրոնական տիպի հրաբխից չէր կարող առաջանալ. պարզ է, որ այդ տուֆերը հեռավանք են ճեղքվածքային արտափոխման: Ինչպես հայտնի է, վերջին հարյուրամյակների ընթացքում նման ժայթքումներ տեղի են ունեցել տասնյակ կիլոմետր երկարությամբ ունեցող ճեղքվածքների սիստեմից, օրինակ՝ Տարափերա հրաբուխը նոր Ջելանդիայում (1886 թ.), Լակի հրաբուխը Իսլանդիայում (1783 թ.), երբ ճեղքվածքների սիստեմից և կտրվածքներից դուրս են ժայթքել տուֆային մատերիալի մեծ զանգվածներ, առաջացնելով իգնիմբրիտների հսկայական կուտակումներ:

Այսպիսով, կարելի է ենթադրել, որ Հայաստանում տուֆերը ամենայն հավանականությամբ հեռեանք են ճեղքվածքային արտափոխումների: Բացի այդ, Հայաստանի տերիտորիայի վրա երևույթով կանալների մոտիկությամբ ուղղակի նշաններ չեն հայտնաբերվում:

Հոգվածի նախափերջին պուլսը նվիրված է տուֆերի առաջացման ֆիզիկո-քիմիական հարցերին: Քննության են առնված այն պրոցեսները, որոնք տեղի են ունենում տուֆային մատերիալի արտափոխումից սկսած մինչև սև տուֆերի վերածվելը: Այդ հարցերում առանձնապես կարևորություն է արվում ցնդող կոմպոնենտներին, որոնցով հարուստ է եղել տուֆային մատերիալը: Հոգվածի վերջում պարզարանվում են արտափոխված տուֆային մատերիալի տերմիկ հարցերը:

Հեղինակը մի շարք փաստերի հիման վրա կարծում է, որ արտափոխված մատերիալի ջերմաստիճանը եղել է մոտավորապես 650—900° սահմաններում:

