

З.А. Ацогорян

ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ТУФОВ АРМЕНИИ



ЕРВАН 1950

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՇԻՆԱՆՅՈՒԹԵՐԻ ԵՎ ԿԱՌՈՒՅՎԱԾՔՆԵՐԻ
ԳԻՏԱՀԵՏԱԶՈՏԱԿԱՆ ԻՆՍՏԻՏՈՒՏ

Զ. Ս. ՀԱՅԱԳՈՐԾՅԱՆ

տեխն. գիտութ. քեկնածու

ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀՐԱԲԽԱՅԻՆ ՏՈՒՓԵՐԻ
ԵՐԿԱՐԱԿԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
հնադարյան և ժամանակակից
կառուցվածքներում

ԵՐԵՎԱՆ — 1959

АРМЯНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ СТРОЙМАТЕРИАЛОВ И СООРУЖЕНИЙ

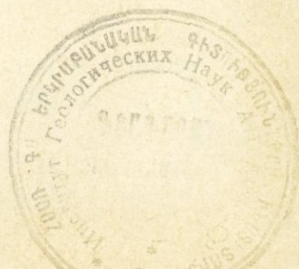
551.24.64

З. А. АЦАГОРЦЯН

канд. техн. наук

**ДОЛГОВЕЧНОСТЬ
ВУЛКАНИЧЕСКИХ ТУФОВ
АРМЕНИИ
в древних и современных
сооружениях**

ЕРЕВАН — 1959



Редакторы
проф. Б. В. Залесский, проф. М. З. Симонов

§ 1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из методов исследования долговечности строительных камней является метод натуральных наблюдений над сооружениями, возведенными из исследуемых камней. При этом, конечно, решающее значение имеет наличие сооружений, простоявших достаточно долгий срок, и возможность установления месторождений примененных в них камней.

Вулканические туфы Армении широко применялись в строительстве еще в древности. На территории Армянской ССР находятся сотни древних сооружений, главным образом памятников церковной архитектуры, уцелевших в той или иной степени [1,2]. Сооружения эти относятся к разным векам. Часть из них принадлежит к эпохе проникновения христианства в Армению, т. е. к IV — V векам нашей эры. Наиболее древний памятник архитектуры — Эчмиадзинский кафедральный собор, возведенный из туфа Эреванского типа, датируется 303 г. нашей эры, следовательно имеет возраст свыше 1650 лет.

Таким образом, для исследования долговечности туфов путем натуральных наблюдений в Армении имеется благодарный материал.

Существует ходячее мнение о том, что туфы вообще долговечны, поскольку туфовые сооружения простояли века. Мнение это основывается на неправильном понимании термина „долговечность“.

Понятие долговечности камня включает не только способность камня не разлагаться в течение срока

службы камня в сооружении, но и способность не подвергаться поверхностному выветриванию, которое может обезобразить сооружение, не причиняя существенного ущерба его прочности и устойчивости.

Подходя с такой меркой к долговечности, можно констатировать, что не все туфы Армении достаточно долговечны, а вполне долговечные туфы в определенных условиях их службы все же показывают признаки выветривания. Следовательно, огульное отнесение туфов к долговечным породам неправильно, и необходимо более детальное изучение вопроса.

В этом отношении наибольший интерес представляют так называемые фельзитовые туфы. Опыт их применения в строительстве в качестве облицовочного камня в течение последних 2—3 десятилетий вызвал серьезные сомнения в их долговечности. Поэтому особенно важно было отыскание древних сооружений, облицованных фельзитовыми туфами, и обследование состояния их облицовки.

С этой целью в течение последних лет Армянским научно-исследовательским Институтом стройматериалов и сооружений были организованы экспедиции в различные районы Армении по обследованию древних сооружений и, попутно, современных сооружений, возведенных из вулканических туфов различных типов.

В настоящей работе приводятся результаты натуральных наблюдений, а также данные по изучению проб туфов, отобранных из облицовки некоторых сооружений и из месторождений камня. На основании этих материалов делаются соответствующие обобщения и выводы.

Фактический материал в книге размещен по типам туфов, из которых возведены обследованные сооружения.

По нашей классификации [3] вулканические туфы Армении делятся на пять типов, а именно: туфы аний-

ского, арктического, ереванского, бюраканского и фельзитового типов.

Первые четыре типа туфов являются продуктами вулканической деятельности четвертичного периода, а последний — фельзитовые туфы — третичного.

Для удобства читателя приведем здесь краткую характеристику выделенных нами типов туфов.

Туфы анийского типа являются легкой и прочной каменной породой красивого желто-оранжевого цвета. Они обычно залегают над пемзой и являются, по существу, пемзовым туфом. Наиболее характерные их показатели: объемный вес $1200 - 1400 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии $120 - 200 \text{ кг/см}^2$.

Туфы арктического типа („туфолавы“) наиболее известны за пределами Армении. Они отличаются видимой пористостью, звонкостью при ударе и основным розовато-фиолетовым цветом. Вытянутая форма пор и заключенных в основной массе пемзообразных и шлакообразных гнезд придают им псевдофлюидальную текстуру.

Объемный вес туфов арктического типа чаще всего колеблется в пределах $1000 - 1400 \text{ кг/м}^3$, предел прочности при сжатии $60 - 150 \text{ кг/см}^2$.

Туфы ереванского типа являются наиболее распространенными среди всех вулканических туфов Армении. Общее число месторождений этих туфов превышает 50-ти. По цвету туфы ереванского типа бывают — красный различных оттенков, черный и переходный буро-коричневый. Причем красный туф всегда представлен в верхнем слое, который через промежуточные оттенки переходит в черные туфы нижнего слоя. По своим физико-механическим свойствам туфы ереванского типа близки к обыкновенному красному кирпичу. Объемный вес их обычно колеблется в пределах $1500 - 1800 \text{ кг/м}^3$, а предел прочности при сжатии $150 - 300 \text{ кг/см}^2$.

Туфы бюраканского типа отличаются наличием в них значительного количества инородных включений раз-

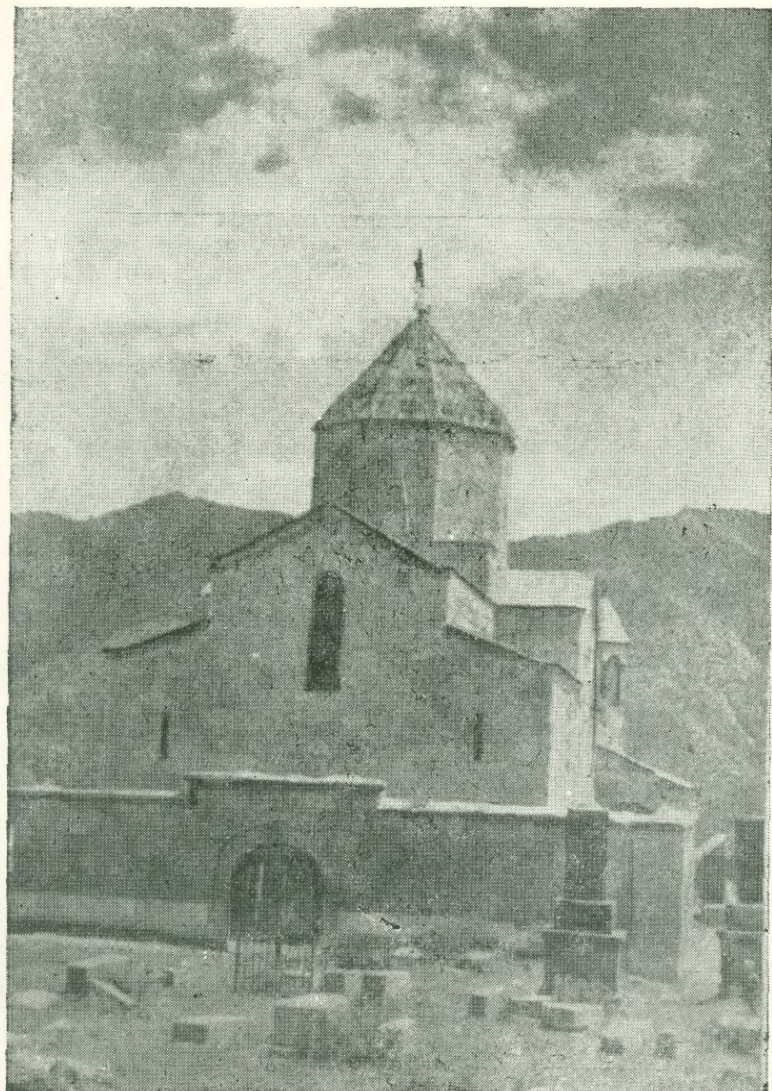
личных твердых пород, в том числе и весьма характерных обломков плотного стекла смоляно-черного цвета в основной красноватой или серовато-черной массе. Обычно туфы бюраканского типа имеют объемный вес $1800\text{—}2000\text{ кг/м}^3$, при прочности $250\text{—}350\text{ кг/см}^2$. Ввиду наличия в них твердых включений, они сравнительно трудно поддаются обработке.

Фельзитовые туфы составляют обособленную группу. Являясь по происхождению более древними, чем остальные типы туфов, они подверглись сильным изменениям, под влиянием, как полагают, гидротермальных процессов. Они в большей или в меньшей степени окварцованы, карбонатизированы или хлоритизированы. В некоторых разновидностях наблюдаются также водные окислы железа и глинистые частицы. Отличаясь тонкопористостью, фельзитовые туфы более плотны, тяжелы и более прочны, чем остальные туфы. Обычно объемный вес этих туфов составляет около 2000 кг/м^3 , предел прочности при сжатии $400\text{—}600\text{ кг/см}^2$. Характерным для фельзитовых туфов является их светлая окраска различных оттенков—розовый, кремовый, зеленоватый и пр., что придает им особую декоративность.

С точки зрения долговечности строительных камней важными являются их водостойкость, определяемая коэффициентом размягчения*, и морозостойкость. Вулканические туфы Армении четвертичного возраста, т. е. туфы анийского, артикского, ереванского и бюраканского типов, обладают достаточной водостойкостью и морозостойкостью: коэффициент размягчения $0,8\text{—}0,9$, морозостойкость—до 25 и более циклов замораживания и оттаивания.

Фельзитовые туфы, несмотря на их более высокую механическую прочность, обычно менее водостойки и

* Отношение предела прочности камня в водонасыщенном состоянии к пределу прочности в сухом состоянии.



Фиг. 1. Одзунский храм, VI—VII вв. Общий вид с запада.



Фиг. 2. Одзунский храм, VI—VII вв. Фрагмент с севера.



Фиг. 3. Одзунский храм, VI—VII вв. Облицовка южного фасада на высоте 2—3 м.



Фиг. 4. Одзунский храм, VI—VII вв. Нижние ряды облицовки южного фасада.



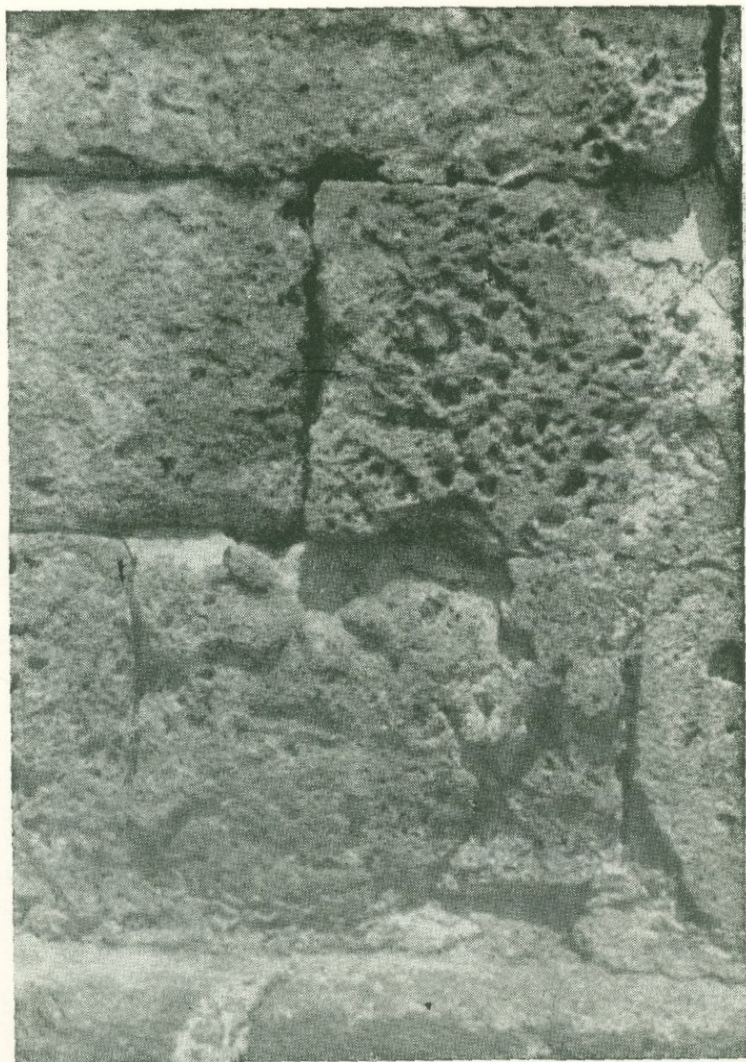
Фиг. 5. Одзунский храм, VI—VII вв. Облицовка западной стороны (притвор). III—IV ряды.



Фиг. 6. Одзунский храм, VI—VII вв. II—III ряды облицовки восточного фасада.



Фиг. 7. Одзунский храм, VI—VII вв. Облицовка западной стороны (притвор), нижние ряды.



Фиг. 8. Одзунский храм, VI—VII вв. III—V ряды облицовки северного фасада.

морозостойки. Коэффициент их размягчения спускается до 0,6—0,7, а морозостойкость — иногда до 5—10 и меньше циклов. Учитывая это обстоятельство фельзитовым туфам в настоящей работе уделяется наибольшее внимание.

Сооружениям из каждого типа туфа мы посвящаем отдельную главу. Внутри глав материал размещен по территориальному и хронологическому принципам. Охвачено свыше десяти районов Армянской ССР, расположенных как в низменности, так и в предгорьях.

Чтобы дать представление о климатических условиях, в которых простояли обследованные нами сооружения, приведем таблицу показателей по данным Гидрометеорологической службы Армянской ССР за десятилетие 1944—1953 гг. (табл. 1).

Как видно из приведенных данных, климат Армянской ССР резко континентальный, с положительными

Таблица 1

Пределы колебаний климатических показателей

Название пункта	Высота над уровнем моря в м	Температура воздуха в °С				Относит. влажность воздуха в %			
		абсолютный		средне-кадный		абсолютный		средне-кадный	
		максимум	минимум	максимум	минимум	максимум	минимум	максимум	минимум
Ереван	1000	39,4	—24,8	34,2	—16,0	100	12	92	22
Ленинакан	1535	34,5	—34,7	30,4	—24,3	100	14	97	24
Кировакан	1325	32,6	—25,4	28,2	—15,4	100	6	96	21
Шнох	662	36,0	—15,7	31,2	—8,8	100	13	96	26
Октемберян	860	40,1	—31,4	34,9	—20,6	99	10	95	18
Артик	1780	33,5	—25,4	20,4	—17,1	100	14	90	27
Апаран	2000	30,9	—34,2	27,8	—19,0	100	11	95	22

температурами, достигающими до $+35 \div 40^{\circ}\text{C}$ и отрицательными до $-25 \div 35^{\circ}\text{C}$. Следовательно, климатические условия в Армянской ССР отнюдь не являются мягкими для службы сооружений, и выводы о долговечности туфов, полученные на основе обследования сооружений, могут быть смело распространены на многие районы Союза ССР, в том числе—северные. При этом следует иметь в виду тот немаловажный фактор, что в условиях Армении мы имеем частые переходы температуры через нуль, следовательно, большое количество теплосмен в течение года. С другой стороны отметим, что многие из обследованных нами древних сооружений простояли века без крыш и без карнизов. Это, конечно, является достаточно суровым испытанием.

Стены древних сооружений в Армении, как правило, возведены в виде трехслойной кладки, состоящей из внутренней и наружной слоев облицовочных камней толщиной 20 — 25 см и из средней бутовой части (сердцевины), выложенных на известковом растворе. Общая толщина стен, по археологическим данным [1], колеблется в пределах 0,90 — 1,05 м.

В туфовых сооружениях и стены, и цоколь обычно облицованы туфом. В древности строители не ставили разницу в облицовке цоколя и стены в смысле применения той или другой породы строительного камня. Туфом же выложены все остальные архитектурные части сооружений — карнизы, пояса, пилястры, архивольты и пр. Даже черепица, которой покрыты многие древние сооружения, вытесана из туфа.

Глава 1. СООРУЖЕНИЯ ИЗ ФЕЛЬЗИТОВЫХ ТУФОВ

Древние сооружения из фельзитовых туфов естественно было искать в районах распространения месторождений этих туфов, а именно в северных районах

Армянской ССР. Поскольку в фондах Отдела охраны архитектурных памятников Госстроя Армянской ССР нет точных сведений о породах строительного камня, примененных в древних сооружениях, пришлось ориентироваться на устные сообщения отдельных архитекторов, знакомых в той или иной мере с древними сооружениями, и проверить полученные сведения на месте, производя обследования в указанных северных районах Армении, а именно в Ноемберянском, Алавердском, Калининском, Степанаванском и Кироваканском районах Армянской ССР.

Обследования показали отсутствие древних сооружений, возведенных из фельзитовых туфов разрабатываемых в настоящее время месторождений. В древности были использованы другие фельзитовые туфы, месторождения которых в большинстве случаев удается установить с достаточной достоверностью, поскольку они находятся недалеко от самих сооружений. Помимо древних, имеется много старых сооружений, построенных в прошлом столетии, и современных. В этих случаях фельзитовые туфы использованы уже из эксплуатируемых ныне месторождений.

Ниже даем описание состояния облицовок из фельзитовых туфов, придерживаясь, по возможности, хронологического порядка. Попутно приводим результаты изучения отдельных проб камня, отобранных из сооружений или из месторождений камня.

§ 2. ОДЗУНСКИЙ ХРАМ

Одзунский храм, построенный в VI—VII вв., находится в с. Узунлар Алавердского района. Храм в целом выглядит сохранившимся (фиг. 1 и 2). Од-

нако облицовка, выполненная из фельзитового туфа светло-серого цвета с желтоватым оттенком, подверглась массовому сильному выветриванию. По приводимым фотоснимкам (фиг. 3—8) видно до какой степени выветрела облицовка Одзунского храма. Следует отметить, что выветриванием охвачены не только нижние ряды облицовки, наиболее подверженные влиянию атмосферных и грунтовых вод, но и вышележащие, при том на фасадах сооружения со всех четырех сторон.

Одзунский храм, по преданию, построен из камня Правакарского месторождения, находящегося на высоком холме („Правакар“) у с. Ардви, южнее с. Узунлар, на расстоянии 8—10 км от него. Осмотр этого месторождения, не используемого в настоящее время, показал, что камень здесь обнажается в виде отвесной скалы высотой до 10 м. На скале наблюдаются следы выветривания в виде больших раковин и полосчатых углублений. Повидимому это давно заброшенный карьер, может быть даже со времен постройки Одзунского храма.

Для изучения свойств камня были отобраны 2 пробы из Правакарского месторождения, а также 2 пробы из Одзунского храма (с парапета северной стороны).

Ниже приводим результаты изучения этих проб. Произведено микроскопическое описание шлифов, изготовленных из наружной части (обнаженной поверхности) каждой пробы и из внутренней части; выполнены химические анализы образцов камня, из тех же наружной и внутренней частей; определены физико-механические свойства проб.

Микроскопическое описание* камня из
Правакарского месторождения (из внутренней части)

Окремненный туф

Порода состоит из агрегата зерен, по составу соответствующих кремнезему. Для фельзитовой структуры породы характерно отсутствие вкрапленников. Зерна кварца плотно соприкасаются друг с другом, размеры их до 0,1 мм. Поверхность зерен в значительной степени загрязнена гидроокислами железа (охрой). С другой стороны, наблюдаются образования радиально-лучистого строения, обуславливающие фельзосферитовую структуру породы. Поверхность этих сферических образований также загрязнена окислами железа. В породе имеются несколько модификаций кремнекислоты: кварц, халцедон и аморфная кремнекислота. При этом волокнистый халцедон окаймляет зерна кварца. В породе наблюдаются поры неправильной и округлой формы, размером до 1 мм, часто сообщающиеся между собой. Некоторые поры заполнены вторичными, сравнительно крупными зернами кварца.

Микроскопическое описание камня из
Правакарского месторождения (из наружной
выветрелой части)

Окремненный туф

Структура, минералогический состав и общий вид аналогичны вышеописанным шлифам. Несколько больше содержание гидроокислов железа.

* Приводимые в настоящей работе микроскопические описания произведены петрографами А. Джафаровым, А. Адамяном, С. Иса-аки и Т. Татевосяном.

Микроскопическое описание камня из
Одзунского храма (из внутренней части)

Фельзитовый туф

Структура породы фельзито-порфировая. Основная масса ее состоит из мельчайших кристаллических образований (не определенных вследствие мелкости), которые по общему облику напоминают кварц. Этот агрегат загрязнен пылеватыми частицами. В фельзитовую массу погружены вкрапленники частично измененного полевого шпата, не проявляющие полисинтетического двойникования. Порода пористая, форма пор округлая, овальная и неправильная. Размеры пор колеблются от мельчайших до 1,5 мм. Рудный минерал—лимонит—встречается в значительном количестве, составляющем около 10% всей массы породы, и заполняет в основном пустоты.

Микроскопическое описание камня из
Одзунского храма (из наружной части)

Фельзитовый туф

Структура породы фельзито-порфировая. Минералогический состав и общий облик—такие же как у предыдущих проб. Отличительными чертами являются более резко выраженное окисление рудных минералов, что обуславливает образование охры и увеличение количества пор (фиг. 9).

Приведенные микроскопические описания показывают, что камень Правакарского месторождения отличается по структуре от камня Одзунского храма, хотя по вещественному составу они близки. Можно допустить, что Одзунский храм был построен из какой-то другой разновидности камня Правакарского месторождения.

Сравнение шлифов, изготовленных из наружной и внутренней части камня, говорит о том, что процесс выветривания связан, с одной стороны, с выщелачиванием менее устойчивого вещества, приводящем к уве-



Фиг. 9. Одзунский храм. Микрофотография шлифа из наружной стороны облицовочного камня (проба № 4). Увелич. 200 $\times$. Ник.—. Черные участки представляют собой агрегат окисленного рудного минерала или окрашенные им участки породы.

личению пористости породы, с другой стороны — с окислением рудных минералов, содержащихся в составе породы.

Приведенные в табл. 2 результаты химических анализов проб показывают, что существенных изменений в химическом составе породы нет.

Таблица 2

Химический состав фельзитового туфа из Одзунского храма

№ № проб	Место взятия проб	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O + K ₂ O	п.п.п.	SO ₃
1	Камень из Правакарского месторождения, проба из внутренней части	74,08	0,22	14,56	1,49	0,42	0,14	7,86	1,26	сл.
1а	То же, из наружной корки	74,70	0,19	14,56	1,59	0,37	0,19	7,40	1,40	сл.
2	Камень из Одзунского храма, проба из внутренней части	66,74	0,50	16,24	4,61	0,24	0,58	7,76	1,78	0,24
2а	То же, из наружной корки	66,46	0,57	16,44	5,23	0,20	0,57	7,70	2,77	сл.

Единственно заметное изменение в химическом составе наружной части облицовки — это увеличение потери при прокаливании (п.п.п.) с 1,78 до 2,77%. Петрографическое изучение показывает, что этому соответствует более резкое, чем внутри камня, окисление рудных минералов — переход лимонита в охру. Как известно, лимонит имеет следующий химический сос-

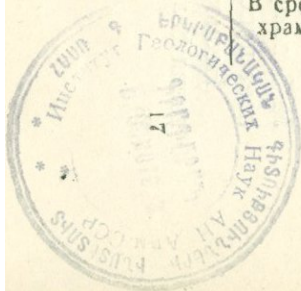
Физико-механические свойства фельзитового туфа из Одзунского храма

№ № проб и обр.	Место взятия пробы	Объемн. вес в кг/м ³	Уд. вес в г/см ³	Пористость в %	Водопогл. по весу в %	Коэфф. водонасыщ.	Предел прочности при сжатии в кг/см ²		
							В сухом сост.	В водо- нас. сост.	После 50 цикл. замор.
1—1	Правокарское месторож- дение	2110			7,0		—	—	475
1—2	Правокарское месторож- дение	2170			6,0		—	—	329
	В среднем по пробе № 1	2140			6,5		—	—	402
2—1	Правокарское месторож- дение	2240			6,3		—	739	—
2—2	Правокарское месторож- дение	2130			6,6		548	—	—
	В среднем по пробе № 2	2185			6,5		548	739	—
	В среднем по Правокар- скому месторождению	2160			6,5				

13945 16436

25-2

3-1	Одзунский храм	1890		28,2	11,2	0,75	—	140	—
3-2	" "	1880		28,5	11,2	0,74	—	—	99
3-3	" "	1900		27,8	11,1	0,76	—	—	—
	В среднем по пробе № 3	1890	2,63	28,2	11,2	0,75	—	140	99
4-1	Одзунский храм	1860		29,1	12,8	0,81	—	270	—
4-2	" "	1850		29,4	13,2	0,82	—	226	—
4-3	" "	1870		28,6	12,3	0,80	—	—	—
4-4	" "	1860		29,1	12,8	0,81	—	—	190
4-5	" "	1870		28,7	13,0	0,84	—	—	271
4-6	" "	1830		30,6	13,2	0,79	—	—	233
4-7	" "	1870		28,6	12,0	0,78	359	—	—
4-8	" "	1890		28,2	11,6	0,77	—	—	—
	В среднем по пробе № 4	1860	2,61	29,0	12,6	0,81	359	248	231
	В среднем по Одзунскому храму	1870	2,62	28,6	11,9	0,78		194	165



тав — $2\text{FeO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$, а охра — $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n \cdot \text{H}_2\text{O}$, где n — доходит до 7. Следовательно, образование охры связано с присоединением до 7 молекул воды, т. е. с увеличением объема, что при известных условиях может привести к разрушению камня. Нам кажется, однако, что окисление рудных минералов являлось лишь одним из факторов, способствовавших выветриванию фельзитового туфа в облицовке Одзунского храма.

Результаты физико-механических испытаний проб тех же камней приведены в табл. 3. Испытания произведены над образцами кубической формы размерами около $10 \times 10 \times 10$ см. Количество образцов из каждой пробы разное, в зависимости от возможности изготовления максимального количества образцов из данной пробы. Водопоглощение образцов определялось постепенным их погружением в воду и хранением под водой до достижения постоянного веса. Пористость образцов рассчитывалась по объемным и удельным весам, а коэффициент водонасыщения — по соотношению объемного водопоглощения к пористости. Морозостойкость определялась при длительности циклов замораживания и оттаивания по 4 часа, причем температура замораживания составляла $-(17 \div 20)^\circ\text{C}$, а оттаивания $+(10 \div 12)^\circ\text{C}$.

Рассмотрение табл. 3 показывает, что камень Правакарского месторождения отличается от камня Одзунского храма большей плотностью и прочностью. Возможно, что сравнительно малая плотность и прочность камня из Одзунского храма отчасти объясняется процессом его выветривания. Сравнение результатов испытания проб № 3 и № 4 показывает, что в пробе № 3 разрушительное действие времени пошло дальше: при одинаковой почти плотности камня, проба № 3 по прочности и морозостойкости значительно уступает пробе № 4.

Несмотря на наличие явных проявлений выветривания фельзитового туфа в облицовке Одзунского храма,

обращает на себя внимание достаточно высокая морозостойкость обоих проб камня из этого сооружения, а также проб из предполагаемого места добычи камня. Нам кажется, что это явление не случайное, тем более, что, как будет видно из дальнейшего изложения, подобные факты наблюдаются и в других случаях. Очевидно в процессе выветривания фельзитовых туфов играют существенную роль, помимо степени их морозостойкости, также другие факторы. На основании произведенных нами лабораторных экспериментов над туфами [4], мы считаем, что одним из таких факторов является многократное попеременное водонасыщение и высушивание камня, разрыхляющее структуру породы под воздействием капиллярных сил.

§ 3. ОРОМАЙР

Монастырь Сурп Ншан Оромайра находится в 4 км к югу от с. Узунлар Алавердского района, т. е. недалеко от Одзунского храма.

На фиг. 10 представлена группа сооружений монастыря над ущельем, состоящая из двух примыкающих друг к другу церквей и притвора между ними. Правая на снимке церковь (южнее) построена из базальта, левая — из фельзитового туфа такой же разновидности, что и Одзунский храм (судя по внешнему виду). Оба сооружения построены в 1206 г.

Базальт в облицовке южной церкви абсолютно свеж, не имеет каких-либо следов выветривания. Туф же значительно пострадал: на поверхности камня много мелких и крупных раковин, образовавшихся от выщелачивания различных включений, очевидно более мягких, чем основная масса. Степень выветривания на западном фасаде больше, чем на северном и восточном. Южная сторона, как указывалось, закрыта базальтовым сооружением.

Сравнение состояния туфовой облицовки Оромайра с таковой Одзунского храма показывает, что здесь мы имеем менее развитую форму выветривания, что можно отнести за счет меньшего возраста сооружения.

Из памятника Оромайр взяты были две пробы камня (из западного фасада). Результаты изучения этих проб приводятся ниже.

Микроскопическое описание камня из облицовки
Оромайра (из внутренней части)

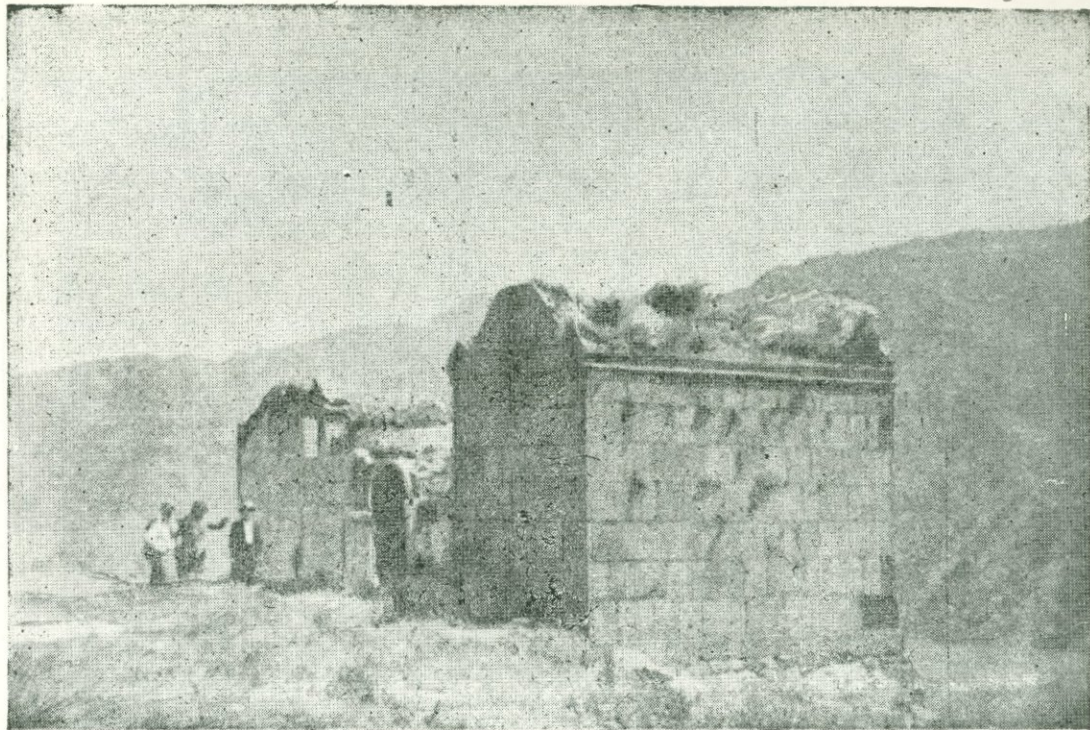
Фельзитовый туф

Структура породы фельзито-порфировая, литокластическая. Основная масса по своему составу и характеру аналогична другим фельзитовым туфам. На фоне основной массы ее выделяются отдельные вкрапленники полевого шпата, представленные призматическими и угловатыми зернами, размером от 0,2 до 1,3 мм. Они замещены продуктами изменения, вследствие чего невозможно установить разновидность полевых шпатов. В шлифах обнаружены также обломки пород, которые по составу отвечают тем же фельзитовым туфам. Рудный минерал представлен лимонитом и охрой, содержанием около 15%, что обуславливает желтоватую окраску породы. Порода пористая, форма пор чаще округлая и неправильная, размером от мельчайших до 0,7 мм.

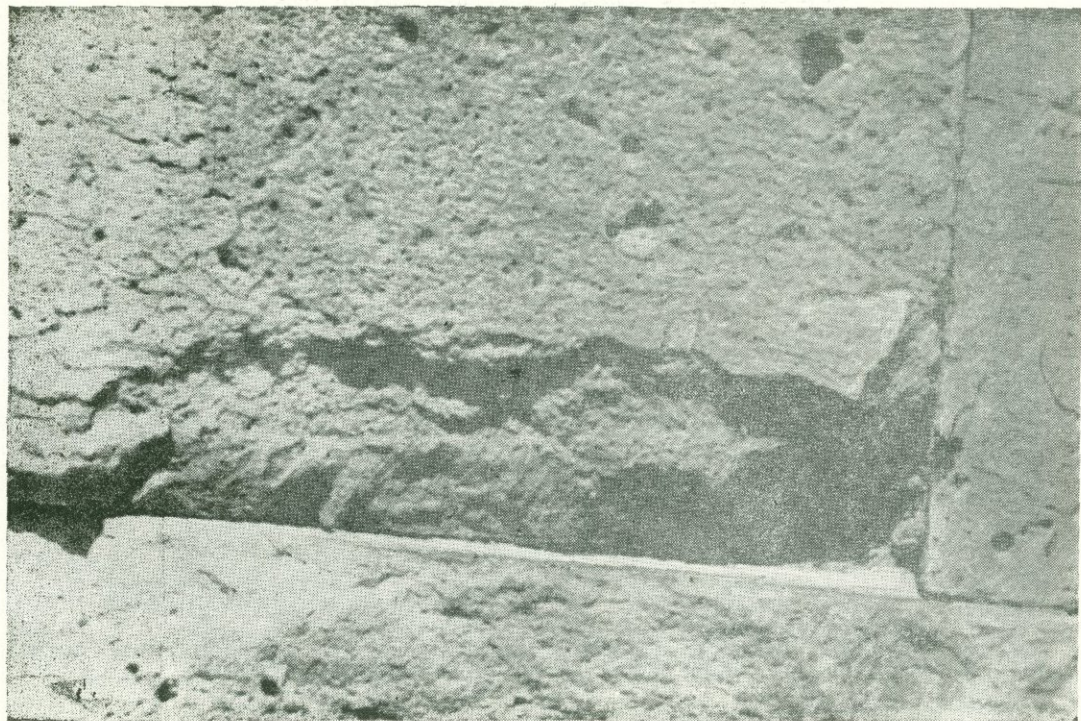
Микроскопическое описание камня из облицовки
Оромайра (из наружной части)

По структуре, минералогическому составу и общему облику не отличается от предыдущей пробы. Наблюдается изменение полевых шпатов, что выражено серицитизацией и карбонатизацией их.

Основная масса породы также пропитана карбонатом.



Фиг. 10. Оромайр, 1206 г. Общий вид с юго-запада.



Фиг. 11. Оромайр, 1206 г. Восточный фасад.

Химический состав проб приводится в табл. 4.

Таблица 4

№ п.п.	Место взятия пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O + K ₂ O	п.п.п.	SO ₃
5	Оромайр, облиц. камень (из внутр. части)	71,90	0,43	15,44	1,79	0,37	0,65	4,81	2,94	0,27
5а	То же из наружной части	68,28	0,36	18,64	1,37	0,25	2,73	5,22	5,20	1,30

Результаты химических анализов показывают заметное увеличение в наружной части облицовки трех компонентов: CaO—с 0,65% до 2,73%, SO₃—с 0,27 до 1,30% и п.п.п. с 2,94 до 5,20%.

По этим данным можно представить себе следующую картину химических изменений: образование в порах туфа гипса за счет привноса извне растворенного в воде гипса или карбоната кальция, с последующим превращением его в сульфат кальция под действием атмосферного SO₃. В наружной части облицовки имеется увеличение SO₃ на $1,30 - 0,27 = 1,03\%$, кото-

рое может связать $1,03 \cdot \frac{56,08}{80,06} = 0,72\%$ CaO. Но увеличение CaO составляет $2,73 - 0,65 = 2,08\%$. Следовательно, большая часть CaO, а именно $2,08 - 0,72 = 1,36\%$ входит в состав карбоната кальция. Для этого требуется CO₂ в количестве $1,36 \cdot \frac{44}{56} = 1,07\%$. Если отнять из п.п.п. эту величину, а также потребную для образования двуводного гипса воду (0,46%), то останется еще 0,73%.

Таким образом, можно считать, что в наружной части облицовки монастыря Оромайр произошли: карбонатизация (прибавление CaCO_3 на $1,36+1,07=2,43\%$), сульфатизация (прибавление двухводного гипса на $1,03+0,72+0,46=2,21\%$), а также серицитизация полевого шпата, наблюдаемое под микроскопом и, возможно, лимонитизация рудного минерала (за счет остатка п.п.п. $0,73\%$, который, очевидно, представляет собой гидратную воду).

Сульфатизация (образование двухводного гипса) и лимонитизация связаны с увеличением объема, что может способствовать разрушению камня.

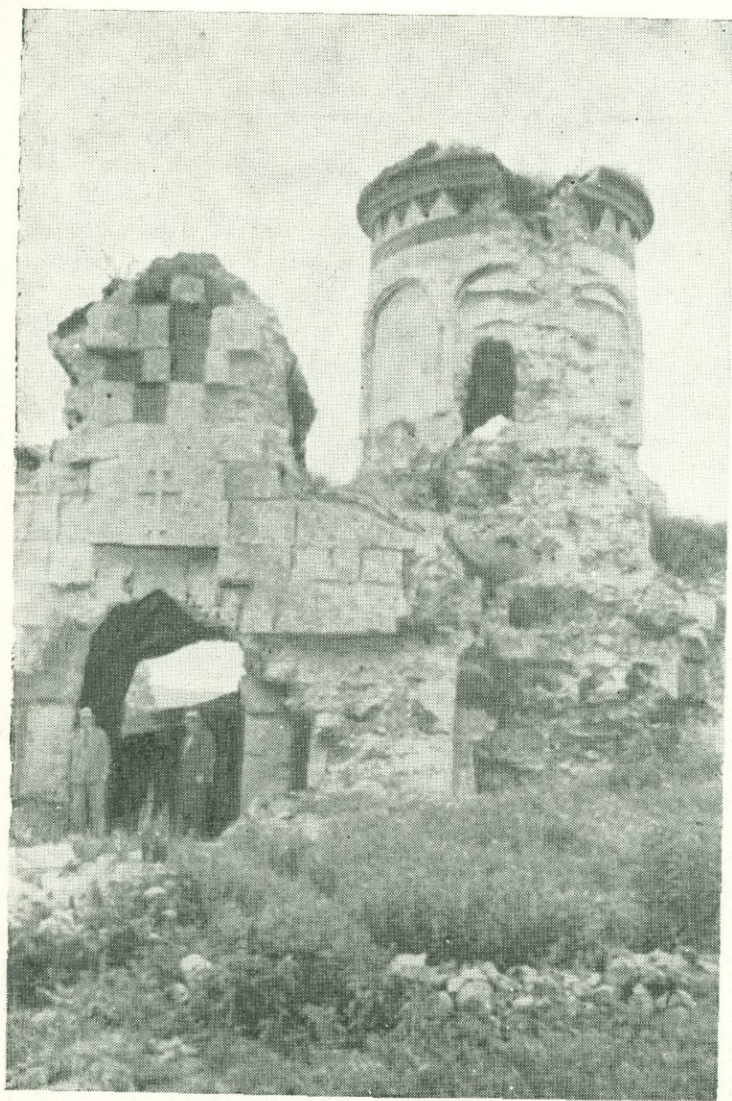
Результаты физико-механических испытаний двух проб из Оромайра даны в табл. 5.

Как видно из табл. 5, фельзитовый туф Оромайра обладает достаточно высокой прочностью и морозостойкостью. Следовательно, его выветривание нельзя отнести к влиянию мороза. Сопоставление с физико-механическими показателями камня из Одзунского храма показывает, что в Оромайре камень сохранил большую плотность и прочность.

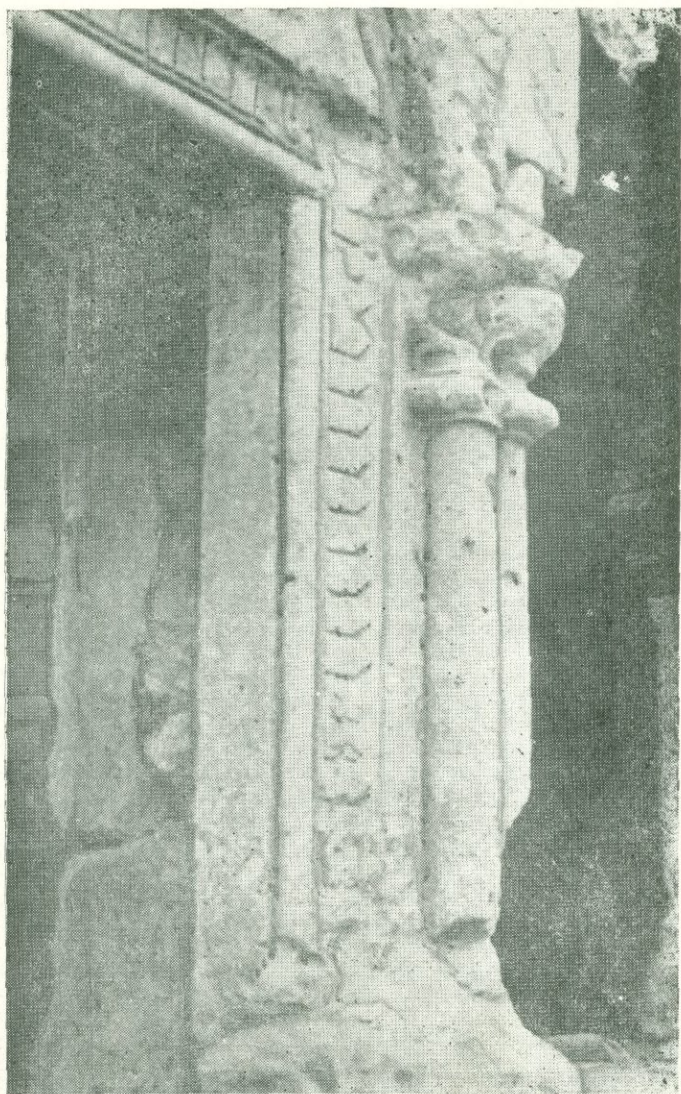
§ 4. ХНЕВАНК

Монастырь „Хневанк“ построен в X веке. Руины этого монастыря находятся недалеко от с. Куртан Степанаванского района, близ шоссеиной дороги Степанаван—ж.-д. ст. Туманян.

В этом памятнике были применены фельзитовые туфы и другие породы камня из различных месторождений: фельзитовый туф розоватого цвета, похожий на туф Цатерского месторождения; желтоватый фельзитовый туф с коричневыми вкрапленниками, похожий на туф Туманянского месторождения; фельзитовый туф зеленоватого оттенка неизвестного происхождения; несколько рядов кладки выложены из базальта; попа-



Фиг. 12. Хневанк, X в. Общий вид.



Фиг. 13. Хневанк, X в. Вход на южном фасаде. Сильное выветривание зеленоватого туфа.



Фиг. 14. Хневанк, X в. Окно на южном фасаде.



Фиг. 15. Хневанк, X в. Левое крыло с юга. Бутовое
заполнение стены, стоящее без облицовки.

Таблица 5

Физико-механические свойства фельзитового туфа из церкви Оромайр

№№ проб и образцов	Место взятия пробы	Об. вес в кг/м ³	Уд. вес в г/см ³	Пористость в %	Водопогл. по весу в %	Коефф. водонасыщ.	Предел прочности при сжатии в кг/см ²		
							В сухом состоянии	В водонасыщ. сост.	После 50 цикл. заморажив.
5-1	Оромайр, облицовка	1970		23,4	10,4	0,87	—	310	—
5-2	„ „	1980		23,0	10,0	0,86	—	330	—
5-3	„ „	1960		23,8	10,6	0,87	—	—	222
5-4	„ „	2030		21,0	9,7	0,94	—	—	258
5-5	„ „	1990		22,6	9,8	0,86	490	—	—
	В среднем по пробе № 5	1990	2,57	22,6	10,1	0,89	490	320	240
6-1	Оромайр, облицовка	1930		24,7	11,2	0,87	—	324	—
6-2	„ „	1970		23,0	9,8	0,84	—	318	—
6-3	„ „	1880		26,6	12,2	0,86	—	—	231
6-4	„ „	1930		24,7	12,0	0,93	—	—	274
	В среднем по пробе № 6	1930	2,56	24,7	11,3	0,88	—	321	252
	В среднем по Оромайру	1960	2,56	23,4	10,7	0,89	490	320	246

даются также отдельные камни черного туфа ереванского типа. Вся эта смесь камней различных пород производит странное впечатление.

Вообще памятник сильно разрушен, облицовка во многих местах отпала, наблюдается сильное выветривание камней, особенно фельзитового туфа зеленоватого оттенка с многими твердыми включениями (фиг. 12—15).

Облицовка барабана из желтоватого, очень плотного фельзитового туфа типа туманянского, а также черепичная кровля из розового плотного фельзитового туфа, напоминающего шахназарский, сохранили свежий вид.

Изучение петрографического и химического состава пробы № 7 из указанной каменной черепицы показало нижеследующее.

Структура породы фельзитовая с слоистой текстурой. Порода состоит из мельчайших кристаллических образований, сцементированных бесцветным вулканическим стеклом. В эту же массу погружены редкие обломки пород с микрофельзитовым строением. Кроме того, в породе в значительном количестве присутствуют зерна рудного минерала, это—окисленные продукты магнетита. Порода пористая, форма пор округлая и неправильная, размеры не более 0,8 мм.

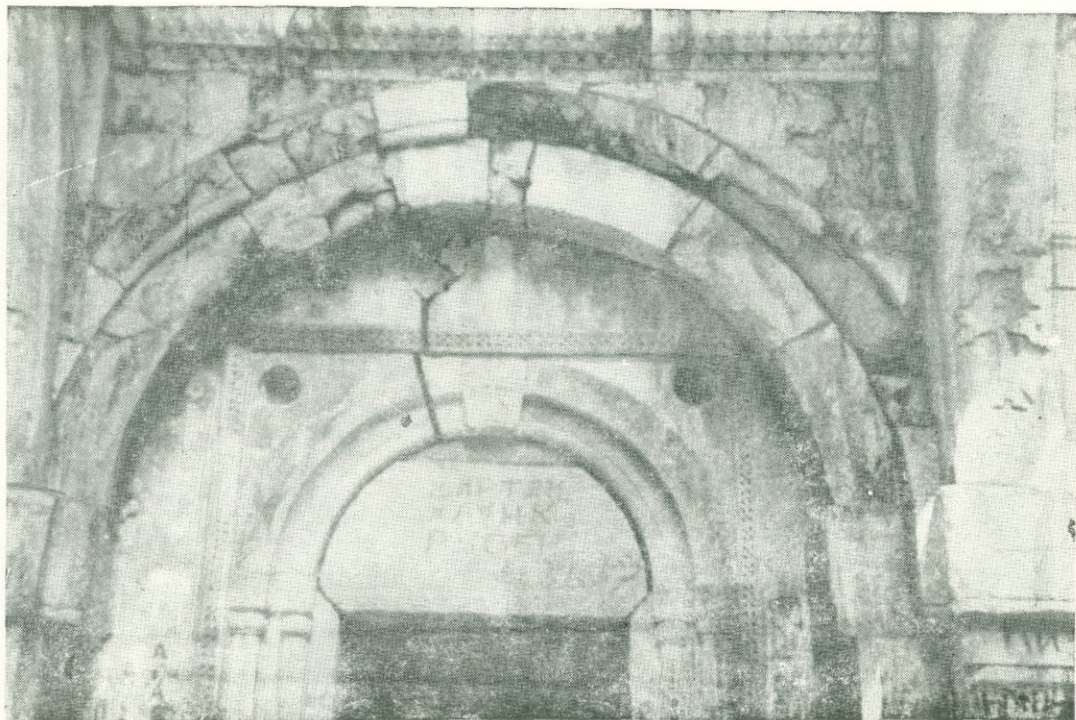
Химический состав породы: SiO_2 —59,96%; TiO_2 —0,60%; Al_2O_3 —17,39%; Fe_2O_3 —5,33%; MgO —следы; CaO —2,33%; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ —2,04%; .п.п.п.—10,98%; SO_3 —0,42%.

Эти данные не позволяют нам вынести каких-либо заключений о сравнительной долговечности породы. Очевидно, что для этой цели следует изучить другие свойства камня, например пористую структуру, для чего недостаточен просмотр под микроскопом.

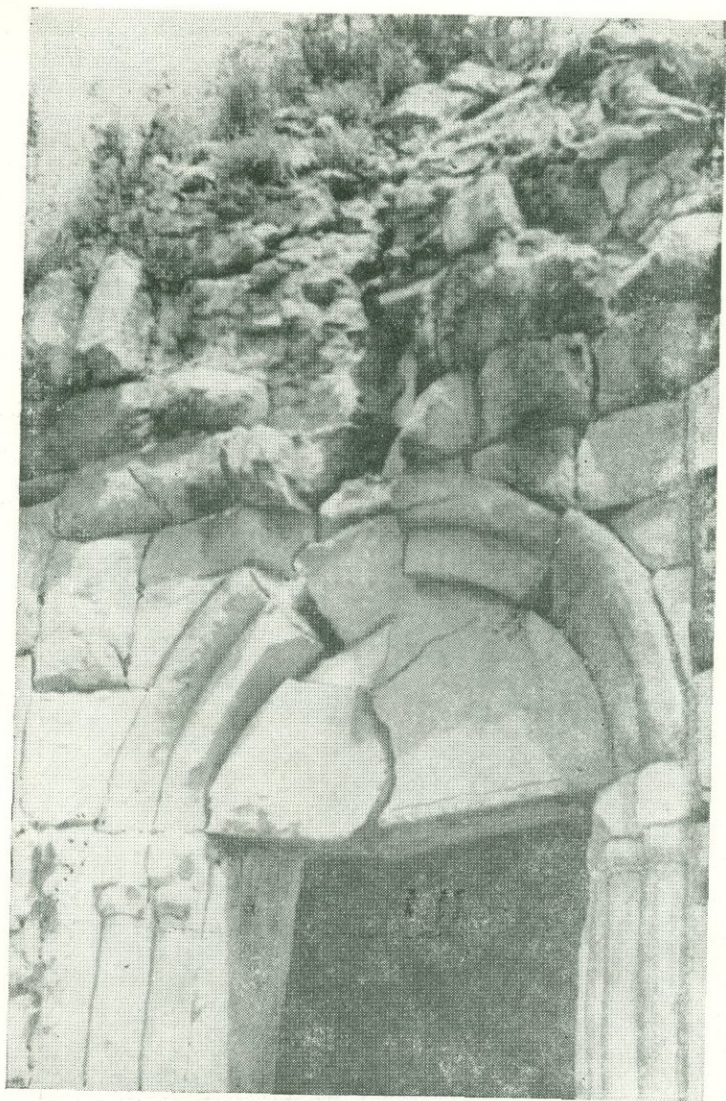
Отмечая хорошую сохранность каменной черепицы и облицовки барабана, не следует забывать, что эти части сооружения (особенно кровля) могли быть восстановлены в более позднее время.



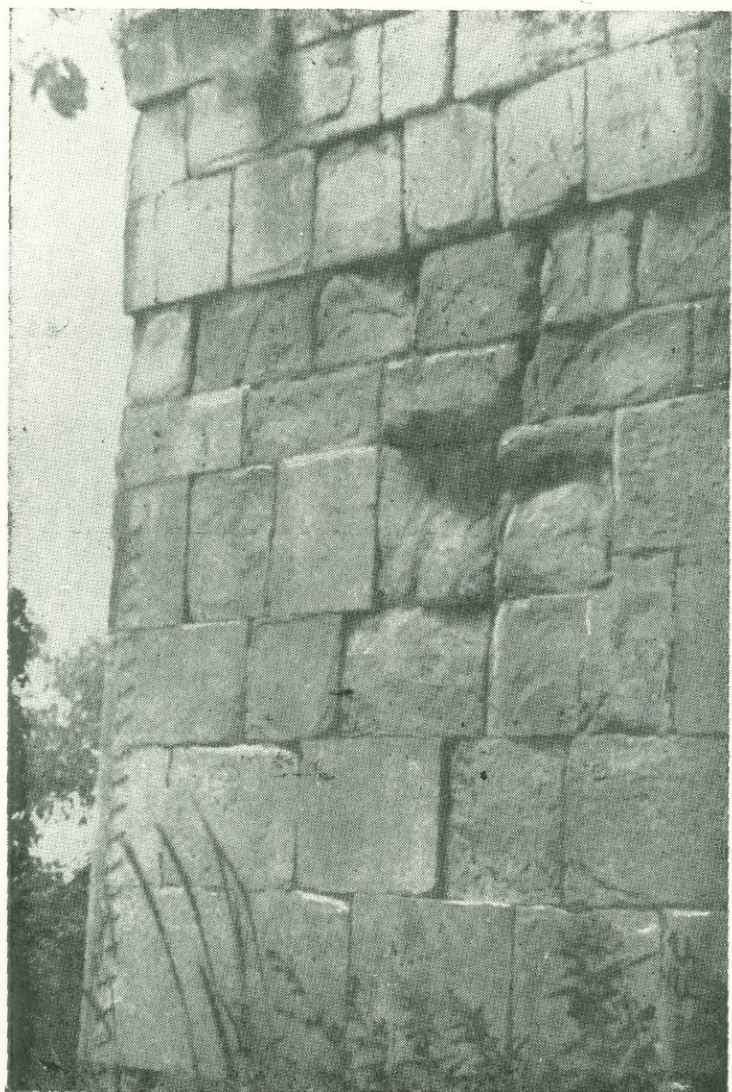
Фиг. 16. Мшкаванк, XI—XII вв. Общий вид с юго-запада.



Фиг. 17. Мшаванк, XI—XII вв. Вид снутри.



Фиг. 18. Мшкаванк, XI—XII вв. Вход с запада.



Фиг. 19. Мшкаванк, XI—XII вв. Фрагмент южного фасада.

§ 5. МШКАВАНК

Монастырь „Мшкаванк“, расположенный в лесу, близ с. Кохб Ноемберянского района, относится к XI—XIII векам. Построен он из фельзитового туфа светло-розового, бежевого, светло-желтого, белого цветов. Месторождение камня находится в окрестностях монастыря, на расстоянии около 1 км от него.

Сооружение сильно разрушено, значительная часть крыши обвалилась. Облицовочные камни по всей поверхности стены сильно выветрились, имеют глубокие выбоины и раковины, наблюдается коркообразование и отслаивания. Разрушению подверглась не только наружная облицовка, но и внутренняя, там, где сооружение стоит без крыши. В закрытой части монастыря внутренняя облицовка осталась целой.

На фотоснимках фиг. 16 — 23 показаны общие виды и фрагменты монастыря „Мшкаванк“.

Наибольшая степень выветривания камня наблюдается на южном фасаде. Облицовка восточного фасада сохранилась сравнительно лучше.

Часть уцелевшей кровли монастыря покрыта каменной черепицей, размерами 50—60 см на 70—100 см, при толщине 6—7 см. Черепица изготовлена из фельзитового туфа зеленовато-желтого оттенка и, что вызывает удивление, не подверглась выветриванию. Возможно кровля сооружения периодически сменялась. Однако известно, что за последнее столетие монастырь не ремонтировался. Следовательно, фельзитовый туф, примененный для изготовления черепиц, отличается повышенной стойкостью и, очевидно, был специально подобран.

Из Мшкаванка были отобраны 2 пробы камня: из стеновой облицовки и из черепицы. Взята также из месторождения в окрестностях монастыря проба камня, близкая по внешнему облику к черепичному камню.

Результаты изучения этих проб приводятся ниже.

Микроскопическое описание камня из
облицовки Мшкаванка (из внутренней части)

Структура породы фельзит-порфировая, текстура пористая. Порода состоит из угловатых, неправильных и изометричных зерен плагиоклаза, которые погружены в перекристаллизованную фельзитовую массу, чем и обуславливается структура породы как фельзитпорфировая. Плагиоклаз представлен мелкими зернами, размерами в пределах от 0,1 до 0,2 мм, с едва заметным полисинтетическим двойникованием. По углу симметричного максимального угасания в сечении $\perp$ (010) плагиоклаз определен как альбит-олигоклаз (№ 15); содержание плагиоклаза в породе доходит до 20%. В шлифах имеются также обломки кварца и апатита и различных, в том числе осадочных, пород. Наблюдается большая неоднородность состава и структуры, что дает основание причислить породу даже к агломератovým туфам.

Карбонатное вещество и хлорит в описываемой породе являются вторичными образованиями, причем последний занимает подчиненное место в отношении первого. Содержание карбонатного вещества составляет около 2—3%. Основная масса — фельзитовая — в значительной степени загрязнена мельчайшими зернами гематита, с постепенным переходом в лимонит и охру, чем и обусловлена розовая окраска породы (макроскопически).

Порода пористая, форма пор округлая, неправильная, размеры — не более 0,3 мм.

Микроскопическое описание камня из
облицовки Мшкаванка (из наружной части)

По структуре, текстуре и минералогическому составу шлифы не отличаются от предыдущих. Размеры зерен плагиоклаза здесь несколько больше и доходят



Фиг. 20. Мшкаванк, XI—XIII вв. Внутренняя облицовка.



Фиг. 21. Мшканк, XI–XIII вв. Колонна внутрі спорудження.



Фиг. 22. Мшкэванк, XI—XIII вв. Внутренняя облицовка.



Фиг. 23. мішқанк, XI—XIII вв. Кровля из каменной черепицы

до 0,3 мм. Содержание карбонатного вещества и хлорита больше и составляет около 5% (фиг. 24). Попадают пустоты диаметром около 2 мм, выполненные вторичным кальцитом.

Микроскопическое описание черепичного
камня Мшкаванка (из внутренней части)

Структура породы фельзито-порфировая. Основная масса состоит из мельчайших кристаллических образований (по общему виду напоминающих кварц), погруженных в тонкораспределенную стекловатую массу. В большинстве случаев фельзитовая масса загрязнена мельчайшими частицами глинистого вещества и рудной пылью. Наблюдаются участки округлой и неправильной формы различных размеров, достигающих до 4—5 мм по удлинению, сложенные зеленоватыми волокнами и мельчайшими чешуйками хлорита (?). На фоне фельзитовой массы выделяются единичные зерна кварца. Бесцветные свежие зерна последнего представлены в виде неправильных изометричных форм, размерами не более 0,4 мм. Наличие этих зерен в основной массе и обуславливает фельзито-порфировую структуру породы.

Порода в значительной степени пористая; поры составляют около 50% общей массы ее. Форма пор различная—округлая, вытянутая, неправильная; размеры от 0,1 до 1,2 мм, а иногда больше; часть пор сообщается между собой. В порах наблюдается образование кальцита. Рудный минерал представлен лимонитом и охрой.

Микроскопическое описание черепичного камня
Мшкаванка (из наружной части)

По структуре и минералогическому составу тождественен с предыдущими. Отличие лишь в сравнительно меньшем содержании кальцита. Рудный минерал представлен охрой, т. е. более окислен, чем в предыдущем случае, но содержание его меньше.

Микроскопическое описание камня из
Мшкаванкского месторождения

Структура породы фельзит-порфировая. Основная масса ее, по составу и структуре, аналогична камню, примененному в качестве черепицы в Мшкаванке. В фельзитовую массу погружены вкрапленники плагиоклаза и обломки перекристаллизованного стекла. Плагиоклаз представлен призматическими и угловатыми зернами размером от 0,1 до 1,2 мм, а иногда до 2 мм, с полисинтетическим двойникованием. По углу симметричного угасания в сечении $\perp (010)$ плагиоклаз определен как альбит-ортоклаз. Зерна плагиоклаза слегка трещиноваты, а поверхность их покрыта мельчайшими серыми и буроватыми частицами. Обломки перекристаллизованного стекла занимают подчиненное место по сравнению с вкрапленниками плагиоклаза. Некоторые из них имеют радиально-лучистое строение. Среди основной массы породы встречаются в небольшом количестве карбонатное вещество и пластинки хлорита. Порода в значительной степени загрязнена окислами железа — охрой, чем обусловлена желтоватая окраска ее.

Результаты химических анализов камней из Мшкаванка приведены в табл. 6.

Сравнение микроскопических описаний шлифов из мшкаванкских проб, в сопоставлении с результатами химических анализов, приводит к заключению, что выветривание фельзитового туфа в облицовке не связано с существенным изменением химического и минералогического состава породы. Можно лишь констатировать повышение содержания CaO и п. п. п. в химическом составе наружной части облицовки и незначительное прибавление SO_3 . По расчету дополнительная карбонатизация наружной части фельзитового туфа (прибавление CaCO_3) составляет 5,45% и сульфатизация (прибавление двуводного гипса) 0,15%. По данным петрографического изучения, помимо карбонатизации, на-



Фиг. 24. Мшкаванк. Микрофотография шлифа из наружной части облицовочного камня (проба № 4). Увелич. 200 $\times$, ник. +. Белые пятна представляют собой зерна плагиоклаза, туманные — участки карбонатизации.

Таблица 6

№ проб	Место взятия пробы	SiO ₂	TiO	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O + K ₂ O	п.п.п.	SO ₃
8	Облицовочный камень Мшкаванка (южн. фасад), из внутренней части	73,60	0,20	12,91	2,24	0,38	2,69	4,06	4,34	сл
8а	То же, из наружной части	67,70	0,15	13,10	1,95	0,15	5,81	3,96	7,36	0,07
9	Черепичный камень Мшкаванка, из внутренней части	68,84	0,55	15,08	2,12	0,38	5,26	1,02	9,44	0,27
9а	То же, из наружной части	66,36	0,22	17,20	2,94	0,25	4,15	0,41	8,20	0,25
10	Камень из Мшкаванского месторождения	66,28	0,45	14,56	3,51	0,39	5,25	4,29	4,90	0,41

блюдается также дополнительная хлоритизация и лимонитизация наружной части камня, что подтверждается из-лишком п. п. п. в 0,57% по расчету химического состава.

Эти химические изменения, конечно, далеко не могут объяснить те существенные разрушения, которые произошли в облицовке монастыря Мшкаванк.

Влияние этих изменений на процесс выветривания можно представить себе таким образом. Облицовочный камень пропитывается атмосферными и грунтовыми водами, которые малыми дозами растворяют содержащиеся в камне карбонаты. Помимо этого, грунтовые воды

Таблица 7

Физико-механические свойства фельзитовых туфов из монастыря Мшкаванк

№№ проб и образцов	Место взятия пробы	Об. вес в кг/м ³	Уд. вес в г/см ³	Пористость в %	Волог. по весу в %	Коефф. водо- насыщ.	Предел прочности при сжатии в кг/см ²		
							В сух. сост.	В водо- насыщ. сост.	После 50 цикл. за- моражив.
8-1	Мшкаванк (облицовка)	2000		20,9	9,3	0,89	—	455	—
8-2	"	1980		21,4	9,8	0,90	—	276	—
8-3	"	2000		20,9	9,2	0,88	—	351	—
8-4	"	2010		20,4	8,6	0,85	—	—	482
8-5	"	2010		20,4	8,7	0,86	—	—	517
8-6	"	2010		20,4	9,3	0,92	—	—	483
8-7	"	2000		20,9	8,7	0,83	—	—	—
8-8	"	1990		21,0	8,6	0,81	670	—	—
	В среднем по пробе № 8	2000	2,52	20,6	9,0	0,87	670	361	494
10-1	Мшкаванкское месторож- дение	2110		17,7	7,1	0,85	—	300	—
10-2	"	2110		17,7	6,9	0,82	—	—	370
	В среднем по пробе № 10	2110	2,56	17,7	7,0	0,83	—	300	370

сами могут внести в растворенном виде карбонаты и другие соли извне. При высыхании облицовки эти соли выпадают из раствора и откладываются в поверхностном слое камня, что служит одной из причин коркообразования и отслаивания. Образование водных окислов рудных минералов, связанное с увеличением объема, также способствует разрыхлению камня. Однако, нам представляется, что наиболее важным фактором выветривания рассматриваемых нами каменных пород является знакопеременное воздействие капиллярных сил при многократном смачивании и высыхании камня. Эта гипотеза подтверждается, помимо произведенных нами лабораторных опытов, также тем, что наибольшая степень выветривания наблюдается на южном фасаде сооружения, что следует объяснить более интенсивным высыханием облицовки этого фасада после каждого намочения.

Физико-механические свойства фельзитовых туфов из монастыря Мшкаванк определены нами на двух пробах: на пробе, отобранной из облицовки стен (южный фасад) и на пробе из монастырского месторождения камня. Результаты испытаний приводятся в табл. 7.

Приведенные в этой таблице данные показывают, что фельзитовый туф, примененный в Мшкаванке, обладает высокой морозостойкостью даже после многовековой службы. Это говорит о том, что в процессе выветривания данного камня морозное выветривание играет подчиненную роль.

§ 6. СООРУЖЕНИЯ В РАЙЦЕНТРЕ НОЕМБЕРЯН ИЗ ФЕЛЬЗИТОВОГО ТУФА БЕРТАХСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В Ноемберянском районе имеется несколько месторождений фельзитовых туфов, используемых в строительстве республики. Применяемый в Ереване и в других городах облицовочный камень беловатого цвета, с

зеленоватым и желтоватым оттенком, носящий название ноемберянского или айрумского (по наименованию ж. - д. ст. Айрум, откуда отгружается камень), добывается на двух месторождениях Ноемберянского района — Кёрплинском и Калачинском. В самом райцентре Ноемберян применяется камень другого месторождения, расположенного недалеко от райцентра и называемого местными жителями Бертахским. По своему внешнему виду камни из указанных трех месторождений мало отличаются друг от друга.

В райцентре Ноемберян был обследован ряд старых и современных сооружений, возведенных из бертахского фельзитового туфа.

1. Церковь Сурп Саркис, построенная в 1848 г.

Стены бутовые из песчаника, обделаны в углах штучными камнями из фельзитового туфа. Карниз также выложен фельзитовым туфом. В нижнем ряду облицовки, в местах примыкания к земле, фельзитовый туф кое-где имеет поверхностные отслаивания, например, на западном и северном фасадах. Наблюдаются незначительные признаки выветривания отдельных камней также и в вышележащих рядах. Однако, в основном, фельзитовый туф Бертахского месторождения оказался достаточно стойким в этом сооружении. Карниз имеет совершенно свежий вид.

Из стен церкви Сурп Саркис была взята одна проба камня (из ряда на высоте 20 см от земли). Ниже приводятся результаты изучения этой пробы.

Микроскопическое описание камня из церкви Сурп Саркис (из внутренней части)

Структура породы фельзитовая, текстура — пористая.

Порода состоит из мельчайших кристаллических образований (по общему виду напоминающих кварц), которые погружены в тонко-распределенную стекло-

ватую массу. Местами наблюдаются участки, выполненные длинными и короткими волокнами зеленоватой окраски. Поры в породе имеют различную форму, округлую и неправильную, размеры—от мельчайших до 2 мм, но в большинстве 0,1 мм. Пустоты нередко выполнены вторичным кальцитом. На фоне фельзитовой массы породы выступают единичные вкрапленники кварца, размером не более 0,6 мм. Рудные минералы полностью превращены в лимонит, по краям переходящий в охру. Содержание лимонита не превышает 5%.

Микроскопическое описание камня
из церкви Сурп Саркис (из наружной части)

Структура.—фельзито-порфировая, текстура — пористая. По минералогическому составу и характеру пор данный образец не отличается от предыдущего. Рудный минерал представлен лимонитом и охрой, содержание которых значительно больше, чем в шлифах, изготовленных из внутренней части камня.

Химический состав и физико-механические свойства пробы туфа из церкви Сурп Саркис приведены в табл. 8 и 9.

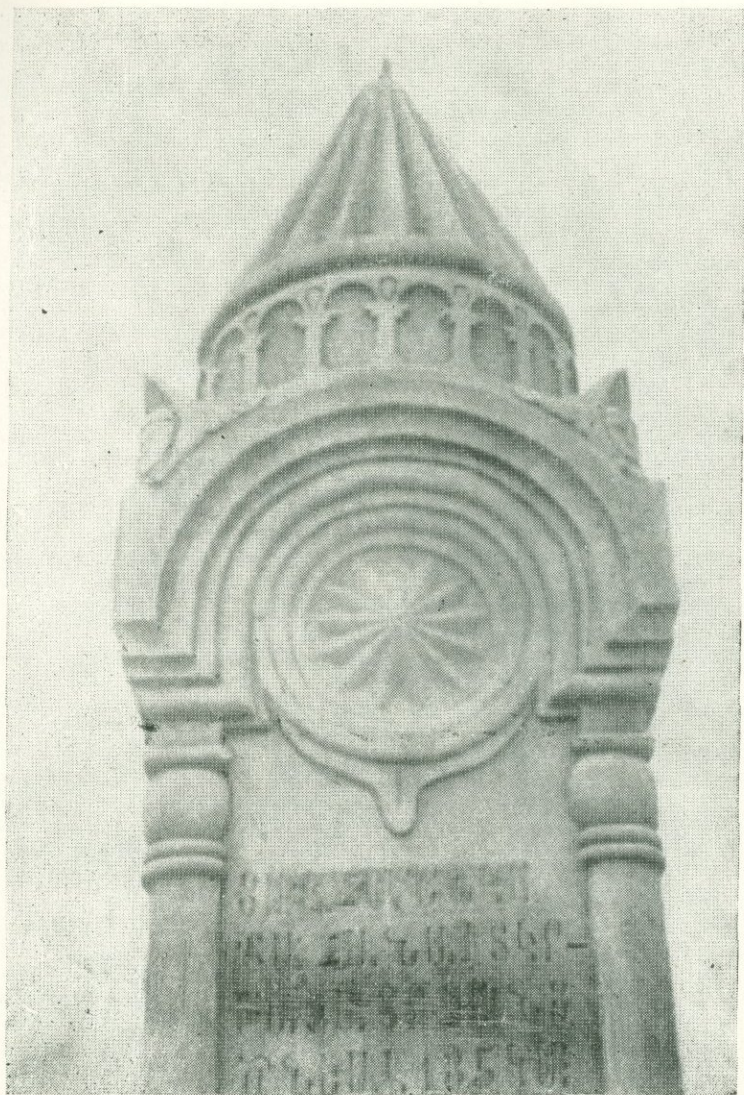
Таблица 8

№ пробы	Место взятия пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O + K ₂ O	п.п.п.	SO ₃
11	Облицовочный камень церкви Сурп Саркис, из внутренней части	65,04	0,20	15,64	3,92	0,47	5,48	1,01	9,53	0,10
11 ^a	То же, из наружной части	60,76	0,20	15,85	3,83	0,50	7,07	0,92	11,63	0,52

Данные химического состава показывают прирост трех компонентов в наружной части облицовки: CaO — с 5,48 до 7,07%, SO₃ — с 0,10 до 0,52% и

Физико-механические свойства фельзитового туфа из церкви Сурп Саркис

№№ проб и образцов	Место взятия пробы	Об. вес в кг/м^3	Уд. вес в г	Пористость в %	Водопогл. по весу в %	Кэфф. водона- сыщ.	Предел прочности при сжа- тии в кг/см^2		
							в сух. сост.	в водо- насыщ. сост.	после 50 цикл. за- моражив.
11-1	Церковь Сурп Саркис	2150		17,0	6,8	0,85	—	394	—
11-2	„ „ „	2130		17,7	6,9	0,84	—	314	—
11-3	„ „ „	2140		17,4	7,2	0,88	—	318	—
11-4	„ „ „	2120		18,2	7,3	0,85	—	—	297
11-5	„ „ „	2160		16,7	6,9	0,89	—	—	405
11-6	„ „ „	2160		16,7	6,8	0,88	—	—	427
11-7	„ „ „	2160		16,7	6,4	0,83	600	—	—
11-8	„ „ „	2150		17,0	6,5	0,82	756	—	—
В среднем		2150	2,59	17,2	6,8	0,85	678	342	376



Фиг. 25. Надгробный памятник в Ноемберяне.



Фиг. 26 Мельничная труба в Ноемберяне, выдолбленная из фельзитового туфа.

п. п. п. — с 9,53 до 11,63%. По расчету прибавление CaCO_3 будет 2,32%, двухводного гипса 0,9% и остается 0,89% п. п. п. на лимонитизацию, подтверждаемую микроскопическим описанием.

Сравнительно хорошая сохранность облицовки из фельзитового туфа церкви Сурп Саркис показывает, что роль указанных химических изменений незначительна.

Как видно из табл. 9, камень из церкви Сурп Саркис оказался вполне морозостойким. Следовательно частичное выветривание камня нельзя объяснить влиянием мороза.

2. Надгробные памятники

У церкви Сурп Саркис имеется надгробный памятник, сделанный из фельзитового туфа Бертахского месторождения, датированный 1907 г. (фиг. 25). Памятник, не покрытый ничем, с орнаментированными деталями и высеченными в камне надписями, сохранился хорошо. Рядом лежащий надгробный камень той же породы с датой 1902 г. также не имеет каких-либо заметных разрушений. По боковым граням камень этот покрыт лишаем.

Было осмотрено кладбище с. Ноемберьян, где имеется много надгробных камней из фельзитовых туфов, главным образом Бертахского месторождения. Все они хорошо сохранились. Наиболее старые из них имеют даты 1864 г., 1894 г. и др.

3. Мельничные трубы

В Ноемберьяне имеются каменные трубы, выдолбленные из фельзитового туфа Бертахского месторождения, которые встарину служили в качестве водоводных труб для мельницы. Размеры этих труб различные, внутренний диаметр доходит до 70 см, при толщине стенок около 10 см (фиг. 26). Несмотря на суровые условия

работы труб во влажной среде, не заметно каких-либо признаков выветривания камня.

Возраст труб не менее 50 лет

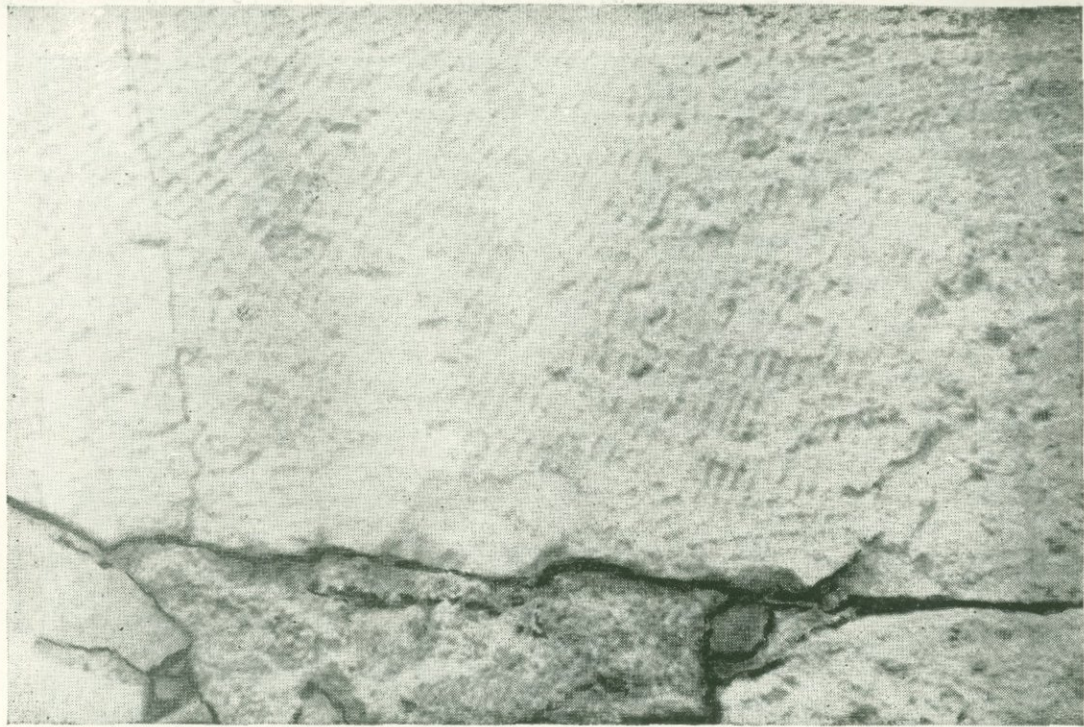
По свидетельству местных каменщиков, камень для изготовления мельничных труб добывался из участка Бертахского месторождения, носящего название „Абазанц“, а для надгробных камней, памятников и вообще старых построек—из участка „Едигаранц“ того же месторождения. Оба эти участка в настоящее время не эксплуатируются.

4. Старые и современные здания райцентра Ноемберян

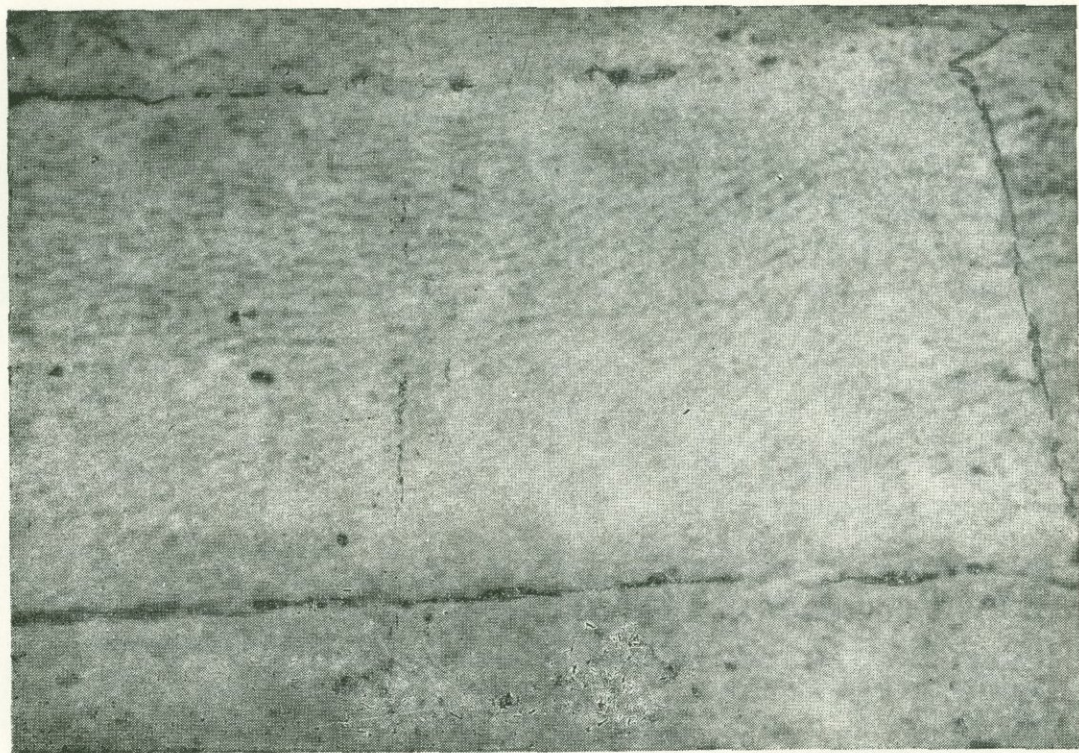
Были обследованы два старых здания: двухэтажный жилой дом, построенный в 1907—1903 гг. и одноэтажное здание райкома, построенное в 1916 г. В обоих зданиях применен фельзитовый туф Бертахского месторождения, причем, по показаниям старожилов, в жилом доме применен (для обделки углов) камень из участка „Абазанц“ (откуда взят и камень мельничных труб), а здание райкома облицовано камнем из участка „Едигаранц“. Сохранность камня в обоих зданиях удовлетворительная, остались нетронутыми даже следы инструмента при обработке камня (фиг. 27 и 28). Лишь в здании райкома, в нижнем ряду цоколя, который также выложен из фельзитового туфа, наблюдается местами небольшое шелушение камня (фиг. 29). Из здания райкома была взята проба камня, результаты изучения которого приводятся ниже.

Микроскопическое описание камня из здания
райкома в Ноемберяне (из внутренней части)

По структуре, минералогическому составу и общему виду порода аналогична камню из церкви Сурп Саркис (см. выше). Размеры пор колеблются от мель-



Фиг. 27. Жилой дом в Нозмберяне, 1907—1908 гг. Обделка бутовой кладки бертахским фельзитовым туфом (грубая теска).



Фиг. 28, Здание райкома в Ноемберяне, 1916 г. Облицовка стены из бертахского фельзитового туфа.

чайших до 1,2 мм, в большинстве случаев поры сообщаются между собой. Нередко пустоты заполнены вторичным кальцитом; в одном шлифе содержание карбоната не превышает 5%, а в другом карбонат отсутствует.

На фоне фельзитовой массы породы выступают единичные вкрапленники кварца, размерами не более 0,6 мм. Рудный минерал представлен лимонитом и охрой, содержание которых вместе составляет около 20% всей массы породы, чем обусловлена желтоватая окраска ее (фиг. 30).

Микроскопическое описание камня из здания райкома в Ноемберяне (из наружной части)

Отличие от предыдущих шлифов заключается в увеличении пористости и карбонатного вещества (до 8%) и в полном переходе рудного минерала в охру (фиг. 31).

В табл. 10 приводятся результаты химических анализов камня, взятого из стен здания райкома. Как видно, имеет место приращение содержания СаО и п. п. п. в химическом составе наружной части облицовки, что подтверждает ее карбонатизацию.

Таблица 10

№№ проб	Место взятия пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O + K ₂ O	п. п. п.	SO ₃
12	Камень из здания райкома в Ноемберяне, внутренняя часть	69,96	0,20	15,12	3,29	0,45	2,07	1,13	7,67	0,02
12 ^a	То же, наружная часть	67,06	0,19	13,45	2,46	0,50	6,15	0,48	9,78	сл.

Если исходить из приращения СаО, то по расчету прибавление карбоната кальция составит 7,30%, хотя для такого количества СаСО₃ прирост п. п. п., по дан-

ным химического анализа, недостаточен. Если же исходить из приращения п. п. п., то прибавление CaCO_3 составит 4,80%. Микроскопическое описание шлифов показывает прибавление карбонатного вещества от 3 до 8%, а также дополнительную лимонитизацию рудного минерала.

По данным физико-механических испытаний (табл. 11), камень обладает достаточно высокой морозостойкостью.

Из современных сооружений в Ноемберяне, облицованных фельзитовым туфом Бертахского месторождения (участка „Азахач“, эксплуатируемого в настоящее время), были осмотрены:

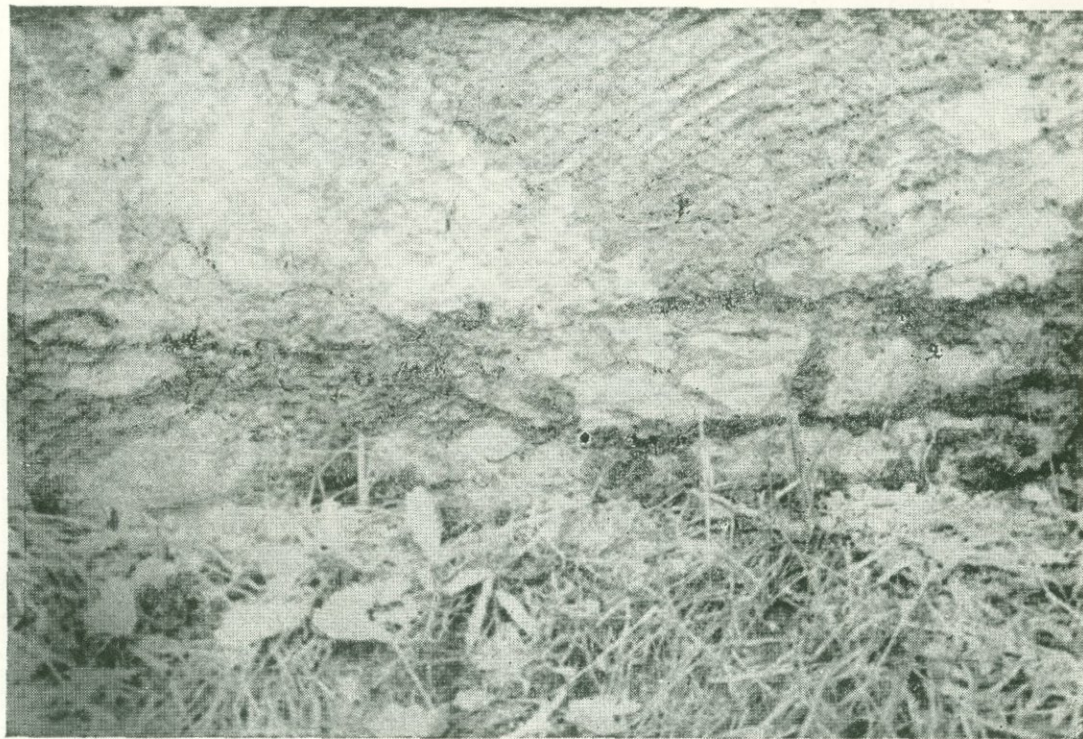
больница, одноэтажная, построена в	1938 г.;
здание типографии, двухэтажное, построено в	1939 г.;
здание средн. школы, двухэтажное, построено в	1939 г.;
здание райисполкома, трехэтажное, построено в	1940 г.;
здание суда, одноэтажное, построено в	1940 г.;
гостиница, двухэтажная, построена в	1945 г.;
родник у гостиницы, построен в	1945 г.

Во всех указанных сооружениях наблюдается выветривание камня в цоколях, выложенных из фельзитового туфа. В качестве примера приведен фотоснимок части цоколя здания суда в Ноемберяне (фиг. 32), на котором отчетливо видно отслаивание камня.

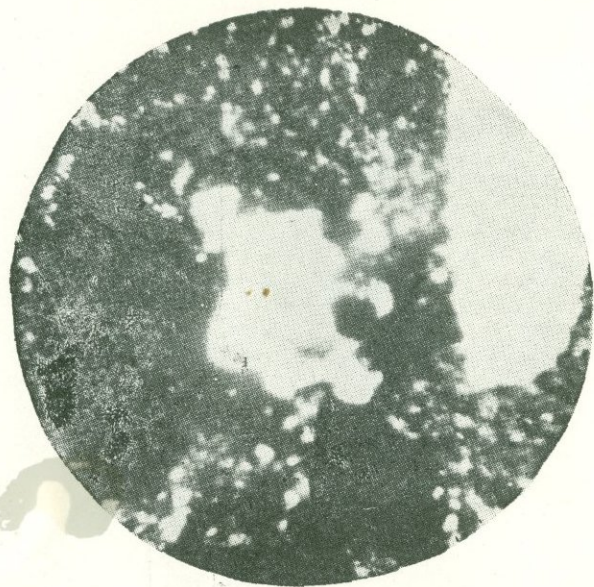
Для сравнительной оценки свойств камня были отобраны две пробы камня из Бертахского месторождения: из участка „Азахач“ и из участка „Едигаранц“. Ниже приводим результаты лабораторного изучения этих проб.

Микроскопическое описание камня из Бертахского месторождения

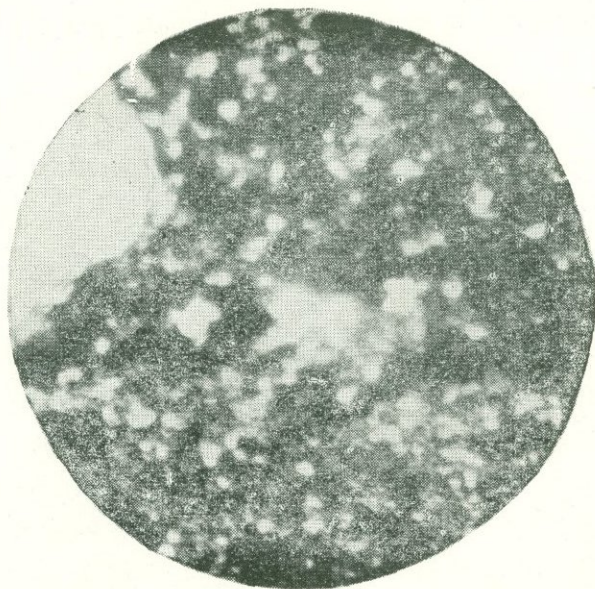
По структуре и минералогическому составу аналогичен вышеописанным камням. Проба из участка „Азахач“ отличается повышенной пористостью, отсутствием или малым содержанием кальцита и окислением рудно-



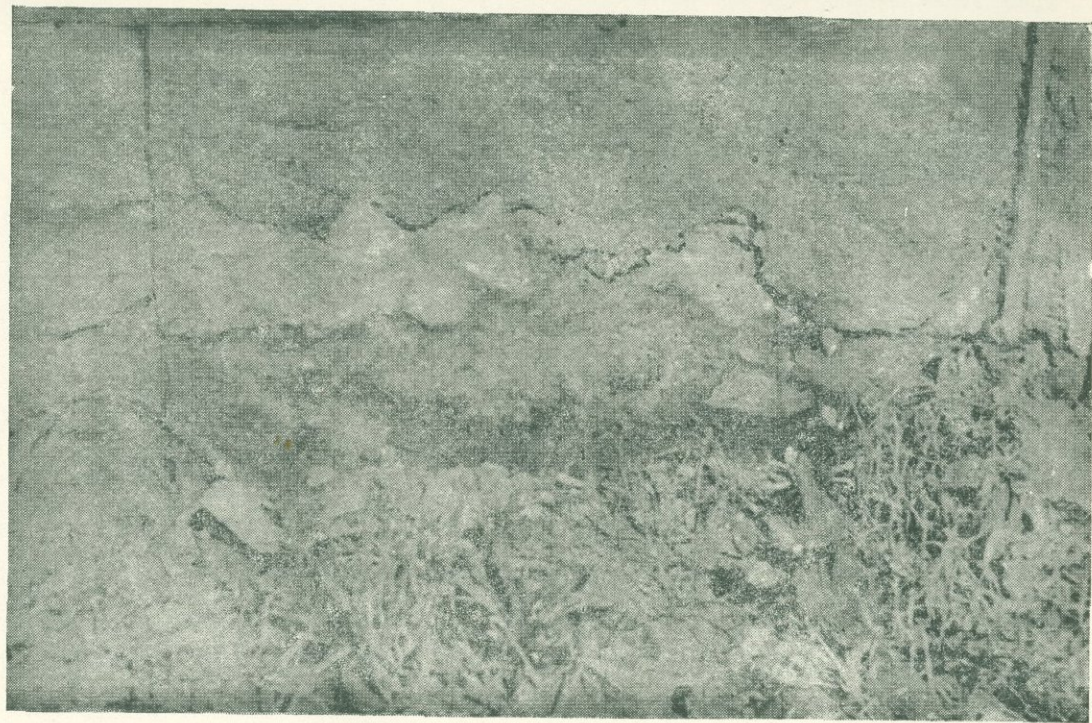
Фиг. 29. Здание райкома в Ноемберяне, 1916 г. Шелушение фельзитового туфа на цоколе.



Фиг. 30. Здание Райкома в Ноемберяне. Микрофотография шлифа из внутренней части облицовочного камня (проба № 12). Увелич. 200 $\times$, ник. +.



Фиг. 31. Здание Райкома в Ноемберяне. Микрофотография шлифа из наружной части облицовочного камня (проба № 12), увелич. 200 $\times$, ник. +. Сероватые пятна представляют собой вторичный карбонат, белые — полевые шпаты и кварцевые зерна. Сравнение с фиг. 30 показывает сравнительно большее изменение (карбонатизация) камня в наружной части.



Фиг. 32. Здание суда в Ноемберяне, 1940 г. Отслаивания фельзитового туфа на цоколе.

Таблица 11

Физико-механические свойства фельзитового туфа из здания райкома в Ноемберяне

№№ проб и образцов	Место взятия пробы	Объемный вес в кг/м ³	Удельный вес в г/см ³	Пористость в %	Водопогл. по весу в %	Кэфф. водо-насыщения	Предел прочности при сжатии в кг/см ²		
							в сухом сост.	в водо-насыщ. сост.	после 50 ц. заморажив
12—1	Здание райкома в Ноемберяне	2130	—	16,8	6,8	0,86	—	332	—
12—2	•	2100	—	17,9	7,3	0,86	—	352	—
12—3	•	2210	—	13,7	6,1	0,98	—	—	414
12—4	•	2140	—	16,4	6,7	0,87	—	—	323
12—5	•	2070	—	19,1	6,7	0,73	607	—	—
В среднем		2130	2,56	16,8	6,7	0,85	607	342	368

го минерала до охры. В пробе из участка „Едигаранц“ наблюдается образование вторичного кальцита, содержание которого доходит до 5 %.

Химический состав камней из участков „Азахач“ и „Едигаранц“ приводится в табл. 12.

Таблица 12

№ пробы	Место взятия пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O + K ₂ O	п.п.п.	SO ₃
13	Бертахское место-рождение, участок „Азахач“	70,06	0,23	13,69	3,25	0,24	3,78	0,64	8,10	1,07
14	То же, участок „Едигаранц“	68,84	0,24	11,58	3,18	0,20	4,69	0,58	8,18	0,36

Данные о химическом составе показывают, что на участке „Азахач“ камень менее карбонатизирован и содержит в значительном количестве SO₃, что указывает на присутствие железного колчедана или гипса, вредных для стойкости породы.

Сравнение физико-механических свойств проб фельзитового туфа из участков „Азахач“ и „Едигаранц“ (табл. 13) показывает, что камень из второго участка несколько более плотный (очевидно вследствие заполнения части пустот вторичным кальцитом), обладает меньшей водопоглощаемостью и, что важнее, меньшим коэффициентом водонасыщения и значительно меньшей размягчаемостью. Повидимому этим и, частично, сравнительно малым содержанием SO₃ следует объяснить большую стойкость камня из участка „Едигаранц“ в обследованных нами сооружениях. Интересно отметить достаточно высокую морозостойкость камня обоих участков и тот факт, что это не помешало выветриванию камня первого участка в цоколях зданий, всего за несколько лет их службы.



Фиг. 33. С. Калача Ноемберянского района. Старая церковь.



Фиг. 34. С. Калача Ноемберянского района. Старая церковь. Выветривание калачинского фельзитового туфа в облицовке стен.



Фиг. 35. С. Калача Ноемберянского района. Старая церковь.
Выветривание калачинского фельзитозого туфа в колоннах.



Фиг. 36. С. Калача Ноемберянского района. Выветривание калачинского фельзитового туфа в отдельно стоящем «хачкаре» (у старой церкви).

Физико-механические свойства
фельзитового туфа из Бертахского месторождения

Таблица 13

№ № проб и образцов	Место взятия пробы	Об. вес в кг/м ³	Уд. вес в г/см ³	Порис- тость в %	Вологл. по весу в %	Кoeff. водо- насыщ.	Предел прочности при сжатии в кг/см ²		
							в сухо сост.	в водо- насыщ. сост.	после 50 циклов замораж
13—1	Бертахское месторожд. участок „Азахац“	2090		19,4	8,3	0,89	—	218	—
13—2	„	2100		18,9	8,2	0,91	—	230	—
13—3	„	2060		20,5	8,6	0,86	—	265	—
13—4	„	2090		19,4	7,9	0,85	—	—	218
13—5	„	2070		20,1	8,5	0,87	—	—	227
13—6	„	2080		19,7	7,9	0,83	—	—	295
13—7	„	2100		18,9	7,4	0,82	682	—	—
	В среднем по „Азахац“	2080	2,59	19,6	8,1	0,86	682	238	247
14—1	Бертахское месторожд. участок „Едигаранц“	2230		14,2	5,6	0,88	—	570	—
14—2	„	2190		15,8	6,1	0,85	—	—	—
14—3	„	2200		15,4	5,8	0,83	—	590	—
14—4	„	2260		13,0	5,4	0,94	—	—	631
14—5	„	2170		16,6	6,2	0,81	—	—	449
14—6	„	2180		16,2	6,2	0,83	—	—	483
14—7	„	2230		14,2	4,7	0,74	877	—	—
14—8	„	2310		11,1	4,1	0,85	—	—	—
14—9	„	2250		13,4	4,8	0,81	—	—	—
	В среднем по „Едигаранц“	2220	2,60	14,6	5,4	0,82	877	585	521

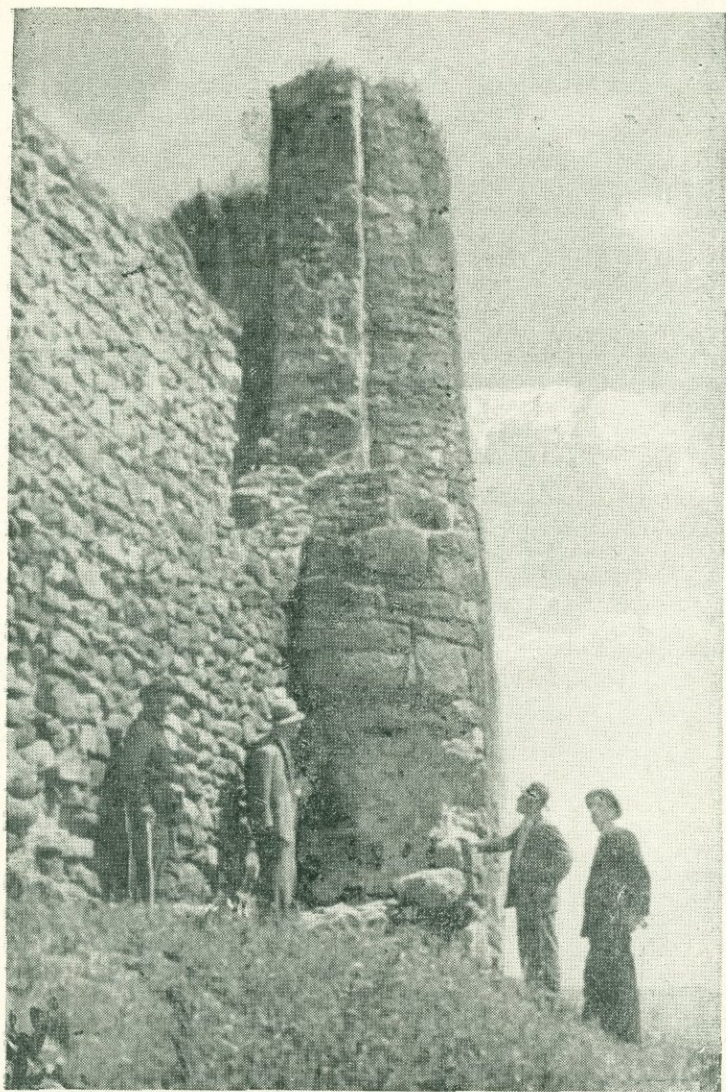
§ 7. СООРУЖЕНИЯ В СЕЛАХ КАЛАЧА И КЁРПЛУ НОЕМБЕРЯНСКОГО РАЙОНА ИЗ КАЛАЧИНСКОГО И КЁРПЛИНСКОГО ФЕЛЬЗИТОВЫХ ТУФОВ

Обследована полуобвалившаяся церковь на старом месте с. Калача, в 2—3 км к востоку от теперешнего села. Церковь (фиг. 33), как и надгробные камни вокруг нее, выполнены из разнородных камней, большей частью из фельзитовых туфов. Облицовка церкви подверглась сильному выветриванию. Состояние местного калачинского фельзитового туфа в облицовке церкви, а также в отдельно стоящем „хачкаре“, показана на фиг. 34, 35 и 36.

Среди надгробных камней имеются удовлетворительно сохранившиеся. Один из них, носящий дату 1810 г., по внешнему облику напоминает фельзитовый туф Бертахского месторождения. Имеются сохранившиеся камни из фиолетово-красного фельзитового туфа Достлинского месторождения.

Калачинская крепость. Эта средневековая крепость расположена на возвышенности, на восточной окраине с. Калача. Двухэтажное сооружение, общей высотой около 10 м, возведено из бутовой кладки, с применением разнообразных камней. Среди последних попадает местный фельзитовый туф, представленный иногда большими, метровыми камнями. Эти камни значительно выветрились (фиг. 37).

Современные здания в с. Калача. Осмотрены два жилых дома, облицованных калачинским фельзитовым туфом из участка „Кариглух“ на северной окраине села. В одном из них, построенном 40 лет назад, облицовка хорошо сохранилась, нет признаков выветривания даже в цоколе, выложенном из того же камня. В другом здании, имеющем по словам жителей 60-летнюю давность, наблюдаются отдельные точки выветривания фельзитового туфа в местах примыкания к зем-



Фиг. 37. Калачинская крепость, средневековая. Отдельные камни из фельзитового туфа.



Фиг. 38. С. Калача Ноемберянского района. Выветривание каменной базы деревянного столба в жилом доме С. Эзданяна,



Фиг. 39. Старая церковь с. Шахназар. Облицовка северо-западного фасада, на высоте 1 м от земли.



Фиг. 40. Старая церковь с, Шахназар. Нижний ряд камней на северо-восточном фасаде,

ле; особенно сильно пострадали каменные базы под деревянными столбами (фиг. 38).

Дом, построенный в 1925 г. из камня, взятого с другого участка Калачинского месторождения, а именно из карьера „Димаци“, обнаруживает поверхностные разрушения облицовки, коркообразование и отслаивание, которые проявляются в наибольшей степени на юго-западном фасаде.

Оба вышеуказанных карьера калачинского фельзитового туфа эксплуатировались для местных нужд. За последние годы открыт новый большой карьер на разведанном Армянским геологическим управлением участке „Ампнанц дзор“ для добычи туфа на вывоз.

Свойства туфа этого участка изучены на разведочных пробах [6]. Отличительной особенностью его является низкая морозостойкость: образцы начинают шелушиться после 3—5 циклов замораживания. Калачинский туф из участка „Ампнанц дзор“ применялся в облицовке ряда сооружений, описание которых приводится в дальнейшем изложении.

Современные сооружения в с. В. Кёрплу. Осмотрено здание правления колхоза с. В. Кёрплу, построенное в 1922 г. из кёрплинского фельзитового туфа. Верхний ряд камней кладки стен, защищенной свесом крыши, имеет местами поверхностное разрушение. На пристройке же, сделанной в 1932 г., нет каких-либо признаков выветривания.

В с. В. Кёрплу имеется каменный жёлоб, изготовленный из кёрплинского туфа белого цвета (по свидетельству колхозников из нижней части туфового пласта), который служит для пойки скота. За 4 года службы жёлоб не имеет признаков выветривания.

Исследование фельзитового туфа Кёрплинского месторождения [6] показало, что здесь имеются камни различных свойств. Декоративные разновидности (беловато-желтого цвета), как правило, отличаются невы-

сокой морозостойкостью (в среднем 8 циклов), но имеются также разновидности туфа достаточно морозостойкие (грязно-желтые и пятнистые).

§ 8. СООРУЖЕНИЯ В С. ШАХНАЗАР СТЕПАНАВАНСКОГО РАЙОНА ИЗ ФЕЛЬЗИТОВОГО ТУФА ШАХНАЗАРСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

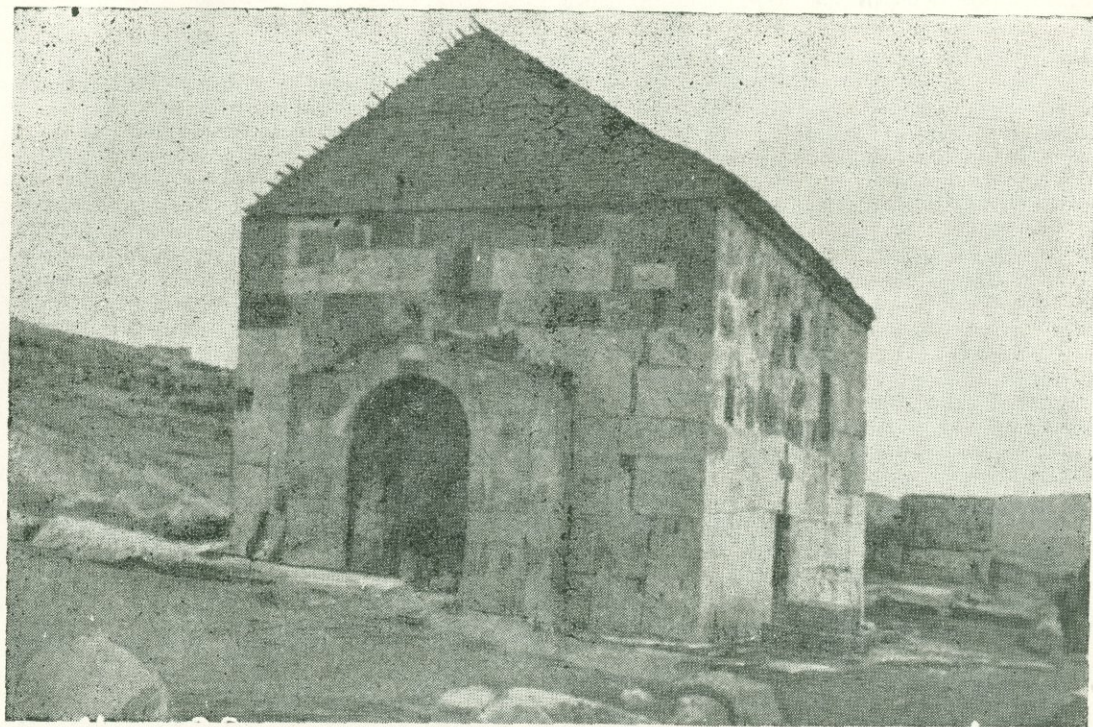
Селение Шахназар основано в 1820 г. переселенцами из Муша-Алашкерта на месте бывшей дачи Карабахского мелика Шахназара. Сельские постройки возведены из разноцветного фельзитового туфа, месторождение которого находится в 4—5 км к северо-западу от селения. Преобладает красный цвет различных оттенков—от светло-розового до темно-красного, встречаются также сероватые, желтые и белые разновидности.

Осмотрены два сооружения, имеющие больше чем столетнюю давность—это старая и действующая церкви с. Шахназар.

Старая церковь построена до основания с. Шахназар, т. е. ранее 1820 г. Камень разноцветный—красный, серый, зеленоватый. Внешний осмотр церкви оставляет впечатление, что при ее постройке частично были использованы камни более древнего сооружения. Облицовка церкви в некоторых местах обнаруживает следы выветривания (фиг. 39 и 40). Возможно, что эти камни принадлежат древнему сооружению.

Действующая церковь Сурп Ованес (фиг. 41). По свидетельству старожилов церковь построена свыше 100 лет назад. Цвет камней—белый, желтоватый, красный. Облицовка в общем сохранена. Однако на восточном фасаде, в двух нижних рядах можно видеть значительное выветривание (фиг. 42).

Рядом с церковью имеются надгробные камни из шахназарского фельзитового туфа разных цветов, носящих следующие даты: серый—1898 г., беловатый—



Фиг. 41 Церковь Сурп Ованес в с. Шахназар.



Фиг. 42. Церковь Сурп Ованес в с. Шахназар. Нижние ряды облицовки на восточном фасаде.

1897 г., темносерый — 1853 г., красный — без даты (по свидетельству жителей давность свыше 100 лет). Все эти камни хорошо сохранились. Хорошую сохранность показывают и надгробные камни из разноцветных местных туфов на сельском кладбище. Наиболее старая дата на этих камнях — 1899 г.

Общежитие учителей, построено 70—80 лет назад из серого туфа. Наблюдается выветривание камня лишь на цоколе, в месте примыкания к земле. Карниз из розового туфа хорошо сохранился.

Осмотрено 4 жилых дома из старых сельских построек. Дом Р. Тумояна, построенный в 1905 г. из туфа красного, серого и розового цветов, имеет удовлетворительно сохранившуюся облицовку (фиг. 43). Даже в месте примыкания ее к земле не заметно каких-либо явных признаков выветривания.

Также удовлетворительно сохранен камень в облицовке двухэтажного дома М. Карапетяна, построенного 50 лет назад из красного туфа, и в облицовке одноэтажного дома Б. Думикяна, возведенного 60—70 лет назад в основном из белого и серого туфа.

Значительное выветривание шахназарского фельзитового туфа наблюдается на жилом доме С. Чобаняна, построенного 80—100 лет назад из камней красного и серого цветов. Дом этот одноэтажный, без карниза, с плоской земляной крышей (фиг. 44). Выветриванию подверглись в основном два нижних и два верхних ряда облицовки. На фиг. 45 представлены выветрившиеся камни первого ряда облицовки. Местами наблюдаются сильное разрыхление камня, отслаивание и сквозные трещины.

Обледование сооружений с. Шахназар показывает, что местные туфы в пределах 50—60 лет служат в облицовке без заметных изменений. Некоторые разновидности туфа проявляют и большую стойкость.

Шахназарские фельзитовые туфы отличаются боль-

шой пестротой как по петрографическому, так и по химическому составу. Структура их колеблется от фельзитовой до витрокластической и брекчиевидной. Подробные данные о свойствах этих камней приводятся в нашей другой работе [6].

Как показали испытания, среди шахназарских туфов имеются как вполне морозостойкие, так и неморозостойкие разновидности.

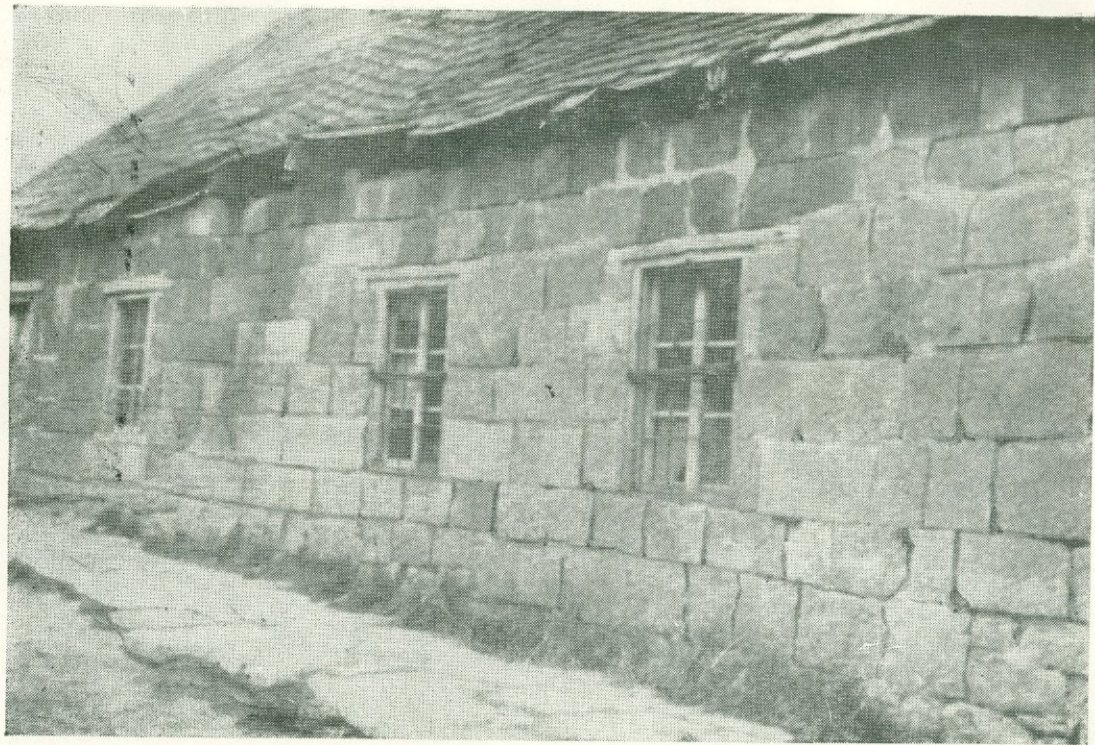
§ 9. СООРУЖЕНИЯ В СЕЛАХ КАЛИНИНО И МЕДОВКА КАЛИНИНСКОГО РАЙОНА ИЗ МЕДОВСКОГО ФЕЛЬЗИТОВОГО ТУФА

У с. Медовка Калининского района расположено месторождение фельзитового туфа оригинальной расцветки—желтоватого, с кирпичевыми причудливыми узорами. Туф этого месторождения, носящий название „медовка“, до сих пор применялся только в местном сельском строительстве.

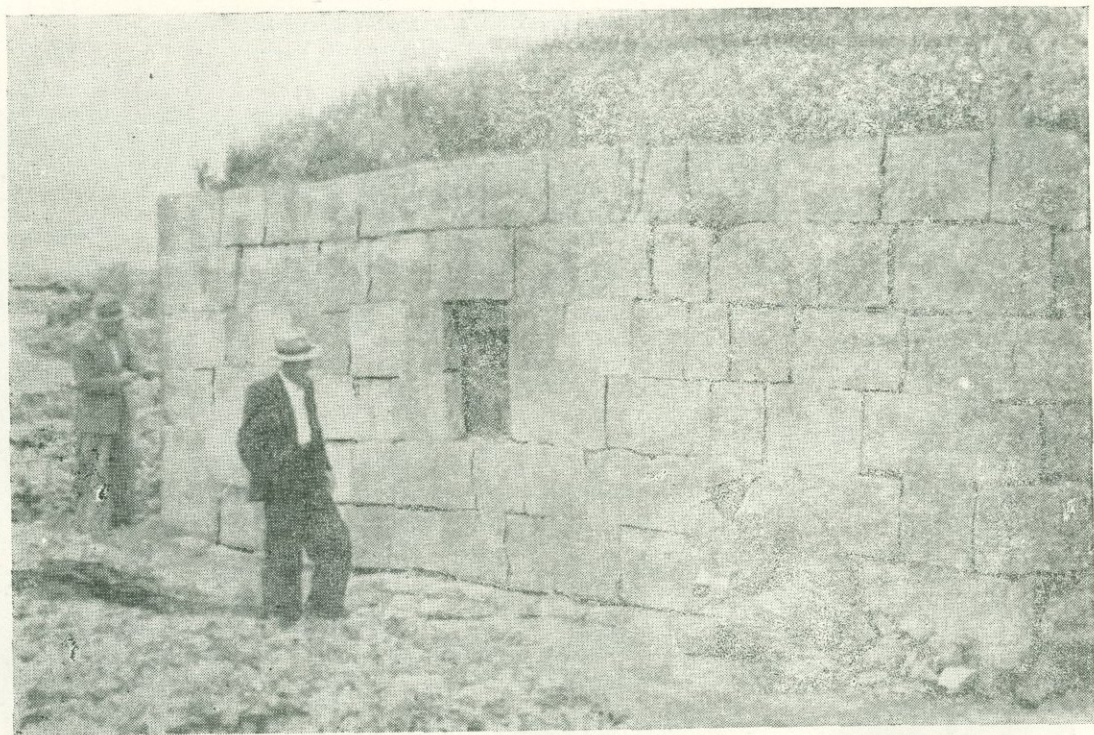
1. Здание Дома культуры в с. Калинино. Двухэтажное здание, построенное в 1907 г. Облицовка стен осуществлена с использованием фельзитового туфа Медовского месторождения. Цоколь, карниз, капители пилястр, а также замковые камни арок над проемами выполнены из базальта.

Облицовка из медовки сохранилась удовлетворительно, только поверхность ее стала чуть шероховатой. Возможно, теска камня была получистой; все же наличие мелких ямок и неровностей может быть частично отнесено за счет вымывания мягких включений в камне. В сырых местах наблюдается некоторое потемнение облицовки, местами же она покрыта зеленовато-желтым или черно-зеленым мхом. Никаких следов коркообразования или отслаивания не обнаружено. После чистки фасада он может принять вполне свежий вид.

2. Колхозный клуб в с. Медовка. Строительство начато в 1950 г., закончено в 1954 г. Теска камня по-



Фиг. 43. Дом Р. Тумояна в с. Шахназар, 1905 г. Облицовка северо-западного фасада из шахназарского фельзитового туфа (сохранность удовлетворительная).



Фиг. 44, Дом С. Чобанла в с. Шахназар. Выветривание нижних двух и верхних двух рядов облицовки,

лучистая, с характерными выбоинами, наблюдаемыми также на здании Дома культуры в Калинино. Облицовка медовским туфом придает сооружению оригинальный вид.

Лабораторные испытания медовки показали достаточную ее морозостойкость и водостойкость. Наблюдается лишь размокание и выщелачивание мелких карбонатных гнезд при длительном действии воды и мороза, что однако не нарушает целостности камня.

§ 10. СООРУЖЕНИЯ В СЕЛАХ КАЧАГАН И УЗУНЛАР АЛАВЕРДСКОГО РАЙОНА ИЗ ЦАТЕРСКОГО ФЕЛЬЗИТОВОГО ТУФА

Месторождение фельзитового туфа, известного под названием Цатерского, расположено в I км к востоку от с. Качаган (правильнее было бы поэтому назвать его Качаганским). До применения этого туфа для облицовки зданий в г. Ереване и в других городах, он применялся в местном сельском строительстве. Нами осмотрено несколько зданий в с. Качаган, возведенных из цатерского туфа, а также в с. Узунлар того же района.

1. Сооружения в с. Качаган

Дом Меликсетяна, построенный 50 лет назад из розового цатерского туфа, имеет следы выветривания камней в нижнем ряду облицовки, а также в верхнем ряду—в тех местах, где нет карниза.

Дом А. Ованесяна построен в 1923 г. Фасад, защищенный балконом, облицован розовым цатерским туфом. В сухих местах камень сохранился хорошо, на краю же балкона, в нижнем и в верхнем рядах облицовки имеются отслаивания, что указывает на выветривание камня при действии влаги.

Здание правления колхоза, построенное в 1933 г.

из желтого и розового туфа, сохранило удовлетворительный вид. Желтый туф, добываемый на окраине с. Качаган, не имеет признаков выветривания даже в местах примыкания облицовки к земле.

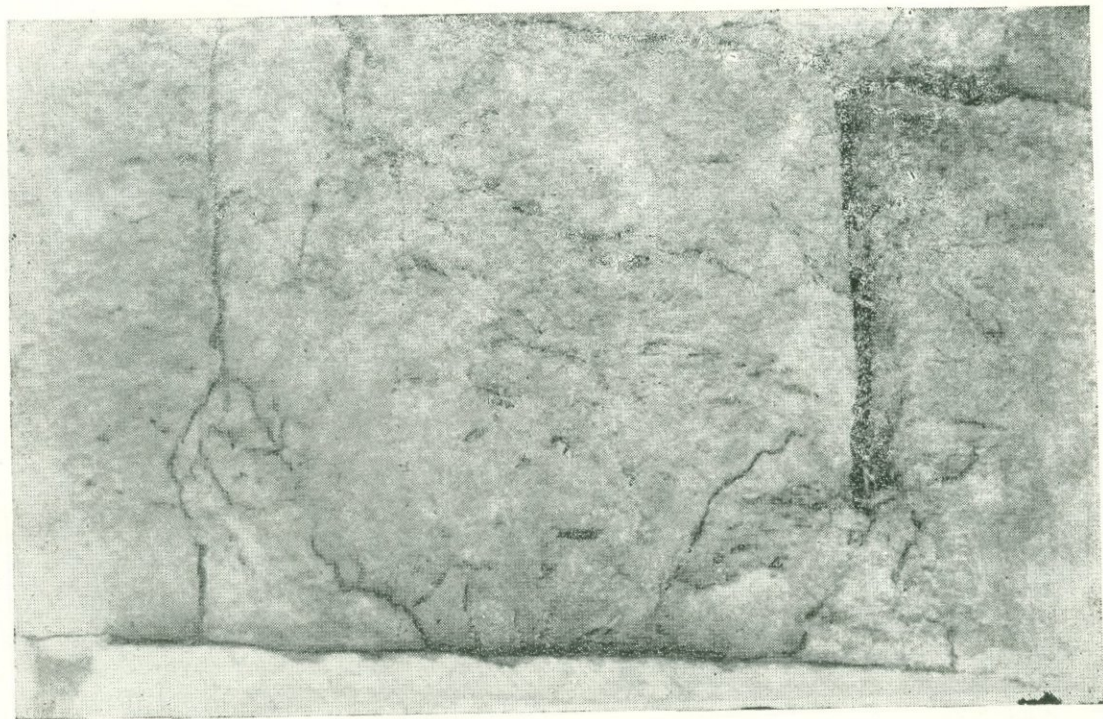
Трансформаторная будка, построенная в 1935 г., облицована в нижней части 6 рядами базальта, а в верхней части желтоватым фельзитовым туфом. Каменный карниз защищен свисающей черепичной кровлей. В таких условиях облицовка из фельзитового туфа сохранилась без изменений.

Нами было осмотрено сельское кладбище с. Качаган. Характерно, что надгробные камни в основном базальтовые, сохранившие свежий вид. Имеются несколько надгробных камней из фельзитовых туфов — розового, белого, коричневого и др. цветов. Эти камни подверглись сильному выветриванию, надписи стерты. На одном из них еле читается дата 1890 г., другой растрескан. Сравнительно лучше сохранился один надгробный камень из желтоватого туфа с датой 1871 г.

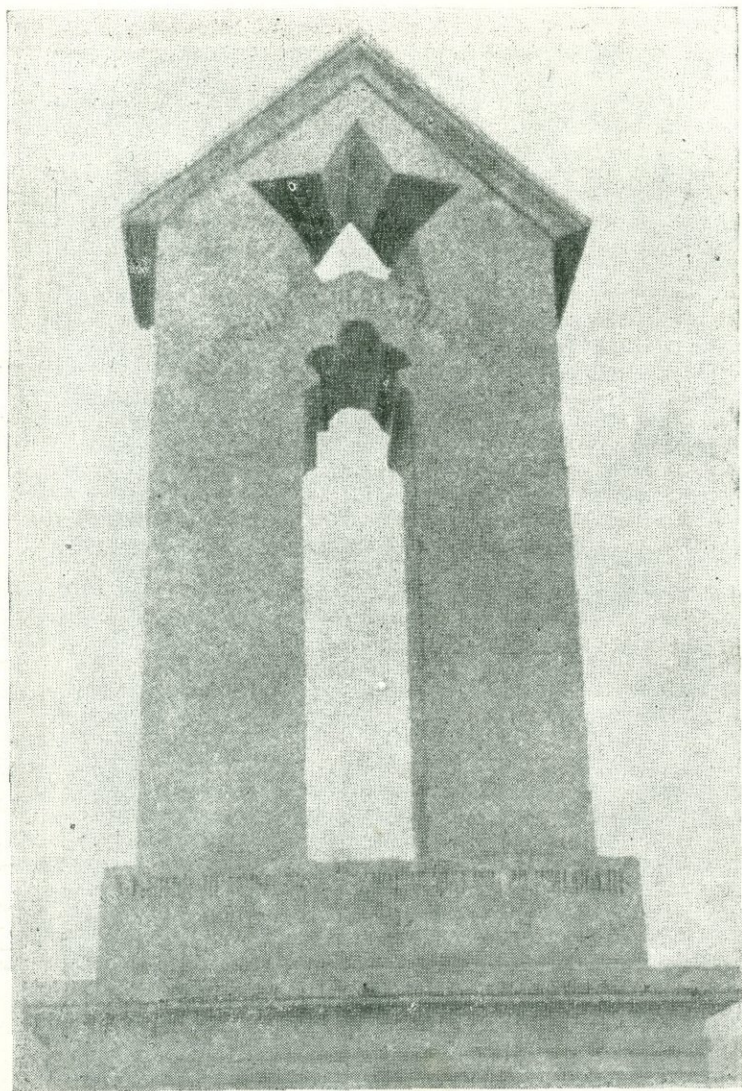
2. Сооружения в с. Узунлар

В с. Узунлар имеется ряд построек, облицованных цатерским фельзитовым туфом. Осмотр одного из них, а именно дома С. Налбандяна, построенного лет 50 назад, показал, что камень выветривается в сырых местах: в нижних 4—5 рядах от земли, а также в верхнем ряду.

В с. Узунлар (во дворе Одзунского храма) в 1923 г. воздвигнут „Памятник революционным борцам“ (фиг. 46). Памятник этот, выполненный из цатерского розового туфа, в общем сохранен неплохо. Однако надпись над пьедесталом памятника частично уже стерта, вследствие выветривания туфа (фиг. 47). Здесь, очевидно, сыграл роль поясok пьедестала, над которой накапливается атмосферная влага.



Фиг. 45. Дом С. Чобаняна в с. Шахназар. Нижний ряд облицовки.



Фиг. 46. С. Узунлар. Памятник революционным борцам, 1923 г.
Цатерский фельзитовый туф.

Свойства фельзитового туфа Цатерского месторождения изучены подробно [6]. Наблюдается довольно большая неоднородность камня по химическому и петрографическому составу. Различна также морозостойкость камня в отдельных пробах. Наряду с достаточно морозостойкими, встречается много проб, которые выдерживают лишь 5—6 циклов замораживания.

§ 11. СООРУЖЕНИЯ НА ЖЕЛ. ДОР. СТ. ТУМАНЯН ИЗ ТУМАНЯНСКОГО ФЕЛЬЗИТОВОГО ТУФА

Как известно, близ ст. Туманян (бывш. Колагеран) Закавказской жел. дороги находится месторождение фельзитового туфа, известного под названием Туманянского (Колагеранского). Камни из этого месторождения в течение последних лет применены в облицовке зданий в г. Ереване и в других городах.

Этот туф применялся еще раньше в строительстве железнодорожного поселка ст. Туманян.

Нами осмотрено два здания:

Здание нефтебазы, построенное в 1925 г. из розового и желтоватого туманянского туфа. Облицовка этого двухэтажного здания сохранена хорошо, за исключением первого ряда ее над базальтовым цоколем. Здесь, на высоте до 20 см от обреза цоколя, наблюдаются поверхностные отслаивания камня, что свидетельствуют о его выветривании.

Здание почты, построенное в 1927 г. Это одноэтажная постройка, возведенная из розового туманянского туфа, с базальтовым цоколем. Здесь тоже в первом ряду туфовой облицовки имеются отслаивания камня, на высоте около 10 см. Верхняя часть стены, защищенная свисающей крышей, не имеет повреждений, зато не прикрытые ничем подоконные камни подверглись выветриванию.

§ 12. СООРУЖЕНИЯ В Г. ЕРЕВАНЕ ИЗ ФЕЛЬЗИТОВЫХ ТУФОВ

В г. Ереване за последние 20—30 лет возведено несколько десятков зданий, облицованных фельзитовыми туфами различных месторождений Армянской ССР. В большинстве это общественные здания, с богатым архитектурным оформлением. Из них нами обследовано 13 зданий, наиболее характерных. Ниже приводится описание состояния облицовки обследованных зданий, группируя их по разновидностям фельзитовых туфов.

1. ЗДАНИЯ ИЗ ФЕЛЬЗИТОВОГО ТУФА ТУМАНЯНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Дом Правительства на пл. Ленина, построен в 1926—27 гг. (левое крыло) и в 1936—41 гг. (центральная часть). Стены облицованы розовым туманянским туфом, цоколь—капутанским андезитом. Фельзитовый туф в облицовке Дома Правительства сохранен относительно хорошо, за исключением карниза, в котором в тех местах, где стекала вода из крыши (из-за ее неисправности), имеются разрушения отдельных камней.

Сильному выветриванию подвергся андезит в цоколе.

Жилой дом артистов по проспекту Сталина, построен в 1939—41 гг. Облицовка стен второго и третьего этажа выполнена из светло-желтого туманянского туфа (первый этаж облицован базальтом). Карниз бетонный, с большим выносом. Фельзитовый туф в облицовке стен не имеет заметных изменений. На фасаде по просп. Сталина наблюдается выветривание фельзитового туфа на балконных перилах, не защищенных от атмосферной влаги.

Жилой дом Гушосдора по ул. Барекамутян построен в 1944—45 гг. Облицовка стен и ограда вокруг здания выполнены из светло-желтого туманянского туфа. Цоколь базальтовый, карниз — бетонный. Отслаивания



Фиг. 47. Надпись на памятнике в Узунларе, частично стертая в результате выветривания туфа.



Фиг. 48. Жилой дом Гушосдора по ул. Барекамуган, 1944—45 гг.
Отслаивание туманянского туфа.



Фиг. 49. Летний ресторан «Москва», 1945—1946 гг. Облицовка стены из туманянского туфа (карниз бетонный).



Фиг. 50. Летний ресторан «Москва», 1945—46 гг. Цоколь из туманянского туфа.

фельзитового туфа наблюдаются на базах колонн и в месте примыкания облицовки к площадке крыльца главного входа (фиг. 48). Более сильные разрушения претерпела верхняя часть каменной ограды, не защищенной сверху ничем.

Летний ресторан „Москва“ Мин. торговли Арм. ССР по ул. Абовян, построен в 1945—46 гг. Облицовка стен и цоколя осуществлена из светло-желтого туманянского туфа, карниз бетонный. Имеются большие разрушения туфа, особенно в цоколе (фиг. 49 и 50). Отдельные камни цоколя выветрились настолько сильно, что распались и вывалились. Бетонный карниз небольшого выноса сохранился хорошо, но он не смог защитить поверхность стены от весьма чувствительного выветривания: разъедания поверхности, отслаивания, осыпания углов. Следует отметить, что карниз не имеет кровельного покрытия, вследствие чего атмосферные воды стекают из карниза на стену.

Здание Совнархоза Армянской ССР на площ. Ленина, построено в 1945—52 гг. Стены облицованы светло-желтым туманянским туфом, цоколь — гранитом. Наблюдается поверхностное отслаивание камня в нижней части пилястр и колонн, на высоте до 15 см от обреза цоколя, на котором накапливается атмосферная влага (фиг. 51).

Здание ЦК КП Армении по ул. Барекамутян, построено в 1948—50 гг. Облицовка стен из светло-желтого туманянского туфа, цоколь базальтовый. Карниз и некоторые другие выступающие части, а также местами первый ряд облицовки стен над цоколем, выполнены из офактуренных бетонных блоков. Благодаря указанным мероприятиям, облицовка в общем сохранилась хорошо. На фасаде по ул. Барекамутян (северный фасад) имеются некоторые признаки поверхностного отслаивания в первом ряду облицовки над цоколем (левое крыло).

2. ЗДАНИЯ ИЗ ЦАТЕРСКОГО ФЕЛЬЗИТОВОГО ТУФА

Зоотехнический корпус Зооветеринарного Института по ул. Терьян, построен в 1927 г. Облицовка стен выполнена из розового цатерского туфа; карниз, пояса и наличники—из ереванского туфа коричневого цвета. Цоколь базальтовый. В облицовке из фельзитового туфа больших изменений нет. Только в отдельных местах скопления влаги имеются незначительные отслаивания.

Физио-терапевтический институт по ул. Абовян, построен в 1928—34 гг. Облицовка стен (частичная) из розового цатерского туфа. Цоколь базальтовый. Имеются сильные разрушения фельзитового туфа на дворовом фасаде, например: вдоль водосточной трубы (фиг. 52), очевидно, из-за просачивания воды на фасад; на подоконной части облицовки (фиг. 53), из-за наличия горизонтальной площадки, образующейся отступом кладки в этом месте, что приводит к скоплению атмосферной влаги.

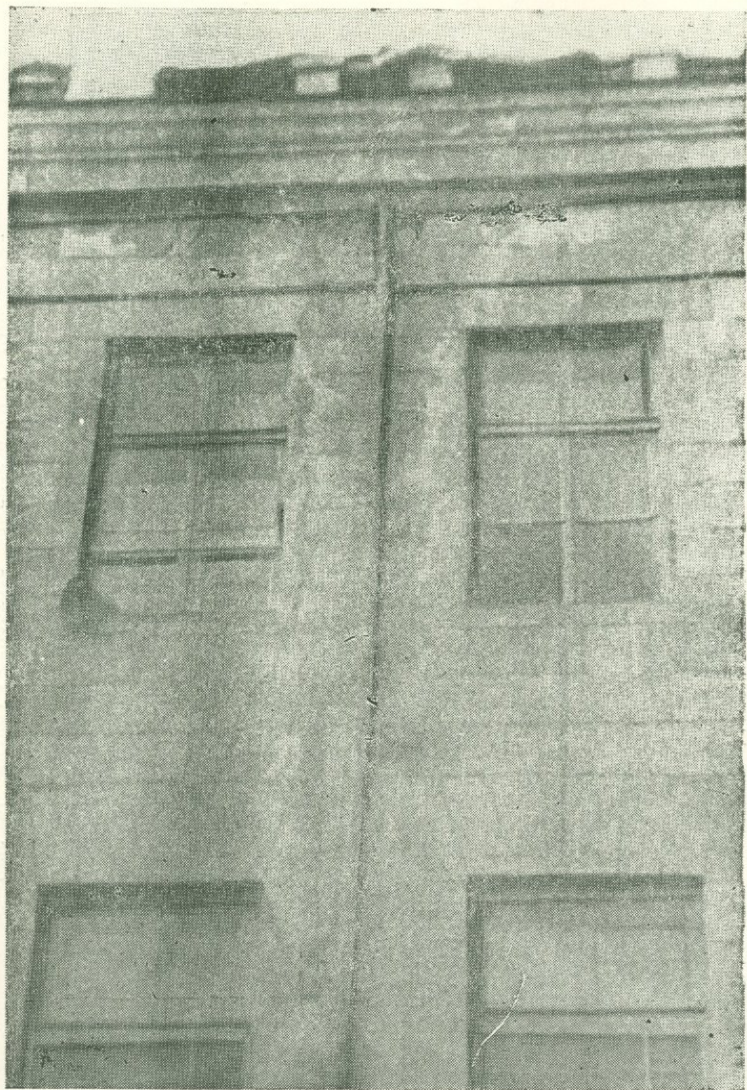
Гинекологическая больница по ул. Абовян, построена в 1929 г. Облицовка стен из розового цатерского туфа. Здесь облицовка сохранена лучше, чем в Физио-терапевтическом институте. Все же можно заметить отдельные места разрушений, как например, во входящем углу на северном фасаде (фиг. 54), у водосточной трубы и др.

3. СООРУЖЕНИЯ ИЗ КЁРПЛИНСКОГО И КАЛАЧИНСКОГО ФЕЛЬЗИТОВЫХ ТУФОВ

Кино-театр „Москва“, построен в 1934—36 гг. В облицовке второго этажа применен беловатый фельзитовый туф Кёрплинского месторождения. Первый этаж, пилястры второго этажа и венчающий карниз



Фиг. 51. Здание Совнархоза Армянской ССР, 1945—52 гг.



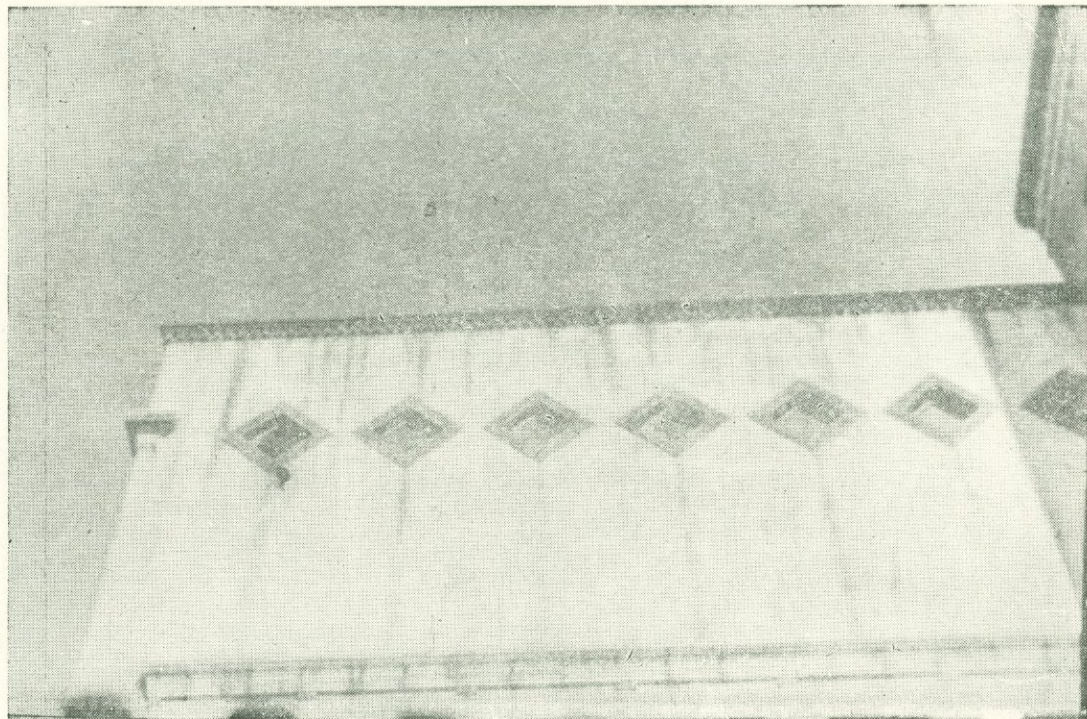
Фиг. 52. Физио-терапевтический институт, 1928—34 гг.



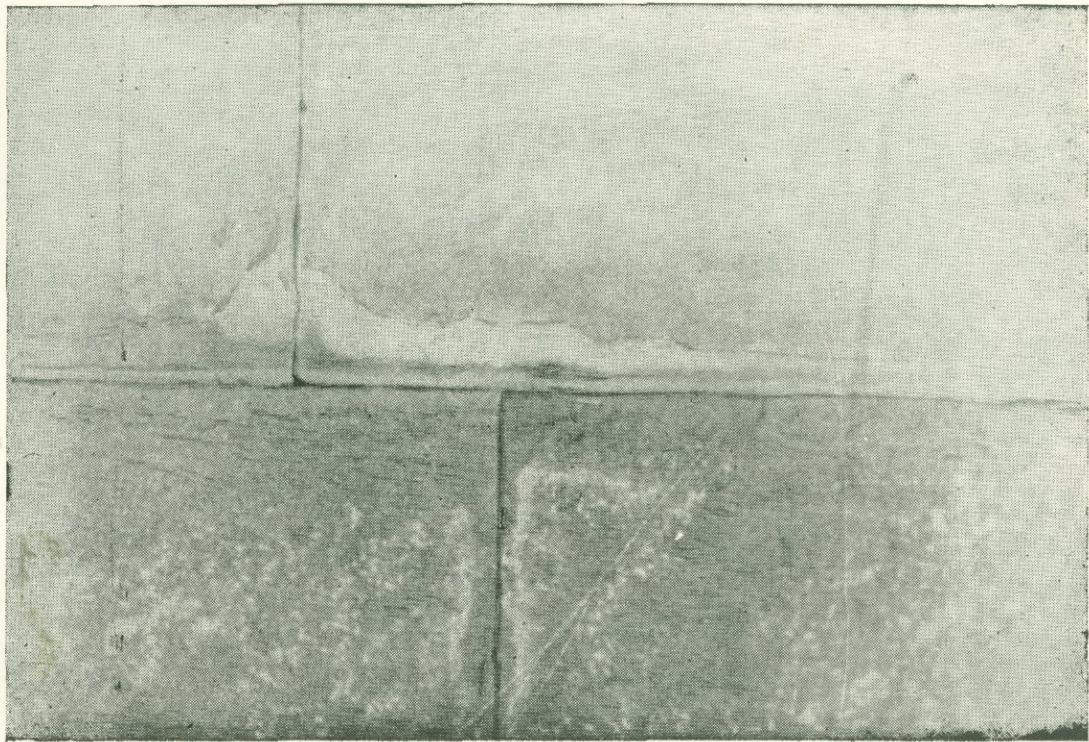
Фиг. 53. Физио-терапевтический институт, 1923—34 гг. Подоконная часть облицовки.



Фиг. 54. Гинекологическая больница по ул. Абовяна (местное разрушение).



Фиг. 55. Кино-театр «Москва», 1934—36 гг.



Фиг. 56. Дом культуры, фасад по пл. Ленина, 1950—52 гг.

выполнены из базальта. Наблюдается выветривание фельзитового туфа в выступающих архитектурных деталях и даже в плоской облицовке под карнизом (очевидно из-за неисправности водоотвода с крыши).

Жилой дом по ул. Чаренца, № 29, построен в 1948—50 гг. Облицовка стен, выполненная из калачинского туфа кремового цвета, в общем имеет удовлетворительный вид. Наблюдается небольшое отслаивание туфа в месте примыкания облицовки к площадке крыльца по ул. Чаренца. Цоколь базальтовый, карниз из фельзитового туфа.

Здание Управления промышленности стройматериалов по ул. Барекамутян, построен в 1948—52 гг. Стены облицованы в основном калачинским туфом кремового цвета, цоколь гранитный. Фельзитовый туф в облицовке заметных изменений не имеет.

Дом культуры (реконструкция фасада по пл. Ленина, выполненная в 1950—52 гг. с применением калачинского и кёрплинского туфов). Цоколь гранитный. Хотя облицовка из фельзитового туфа в общем не имеет пока изменений, все же можно заметить небольшое поверхностное отслаивание туфа в одном месте, над обрезом цоколя (фиг. 56).

§ 13. СООРУЖЕНИЯ В Г. ТБИЛИСИ ИЗ ФЕЛЬЗИТОВЫХ ТУФОВ АРМЯНСКОЙ ССР

В г. Тбилиси несколько зданий облицовано фельзитовыми туфами, привезенными из месторождений Армянской ССР. Нами осмотрены следующие здания:

Бывш. школа Нерсисян (ныне корпус № 2 Грузинского политехнического института) на Арсенальной горе, построена в 1910—11 гг. Здание, кроме цоколя, облицовано цатерским розовым туфом. В арках при главном входе и частично в карнизах использован беловатый с зеленым оттенком туф, похожий на кёрплинский.

Наблюдается сильное выветривание облицовки в карнизах, в подоконных частях (имеющих некоторый уклон во внутрь окна), во входящих углах здания, особенно там, где проходят водосточные трубы. Имеются небольшие следы выветривания также в частях облицовки стены над обрезами цоколя.

Дом офицеров Закавказского Военного Округа по просп. Руставели, № 16, построен в 1915—16 гг. Второй этаж облицован цатерским розовым туфом — в отступающих и гладких частях фасада. Пилястры, карниз и даже нижняя часть плоской облицовки (высотой 15—20 см) выполнен другим камнем (белый известняк). Благодаря этим мероприятиям, нет никаких заметных следов выветривания.

Здание Управления Закавказской железной дороги по ул. Клары Цеткин, № 127, построено в 1927 г. Облицовка стен выполнена из розового фельзитового туфа, по видимому Туманянского месторождения. Наблюдаются местами потемнения и потеки на карнизах.

Глава II. СООРУЖЕНИЯ ИЗ ТУФОВ ЕРЕВАНСКОГО ТИПА

§14. ДРЕВНИЕ СООРУЖЕНИЯ В ГОР. ЭЧМИАДЗИНЕ И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ (IV—VII ВВ.)

В современном городе Эчмиадзине, центре одноименного района Армянской ССР, находится ряд древнейших каменных сооружений Армении, возведенных из местного вулканического туфа, относящегося к туфам ереванского типа. Здесь мы описываем три наиболее значительных сооружения, расположенных в Эчмиадзине и его окрестностях, а именно: Эчмиадзинский кафедральный собор, церковь Рипсимэ и Звартноц.

Эчмиадзинский кафедральный собор

Это—центральный собор армяно-грегорянской церкви, где до сих пор происходят самые торжественные церемонии: освящение каталикоса всех армян, варка священного мирра и др. Кафедральный собор, по историческим данным, построен основателем армяно-грегорянской церкви и первым католикосом Григорием Просветителем в 301—303 гг. В дальнейшем, в различные эпохи, собор подвергался реконструкциям и расширениям. Тем не менее первоначальная часть здания сохранилась и узнается по греческой надписи на наружной стене (тогда еще не было армянской письменности).

Кафедральный собор возведен из туфа ереванского типа серовато-черного и красного цветов, с переходными

оттенками. По преданию как для кафедрального собора, так и для всех церковных сооружений Эчмиадзина, камень добывался на карьере „Лусаворич“ (что означает „Просветитель“), находящемся в 12 км к северо-западу от Эчмиадзина и действующем по настоящее время.

Туфом облицованы не только стены, но и цоколь здания. Однако известно, что цоколь был обновлен приставной туфовой облицовкой в последней четверти прошлого столетия, при католикосе Макаре.

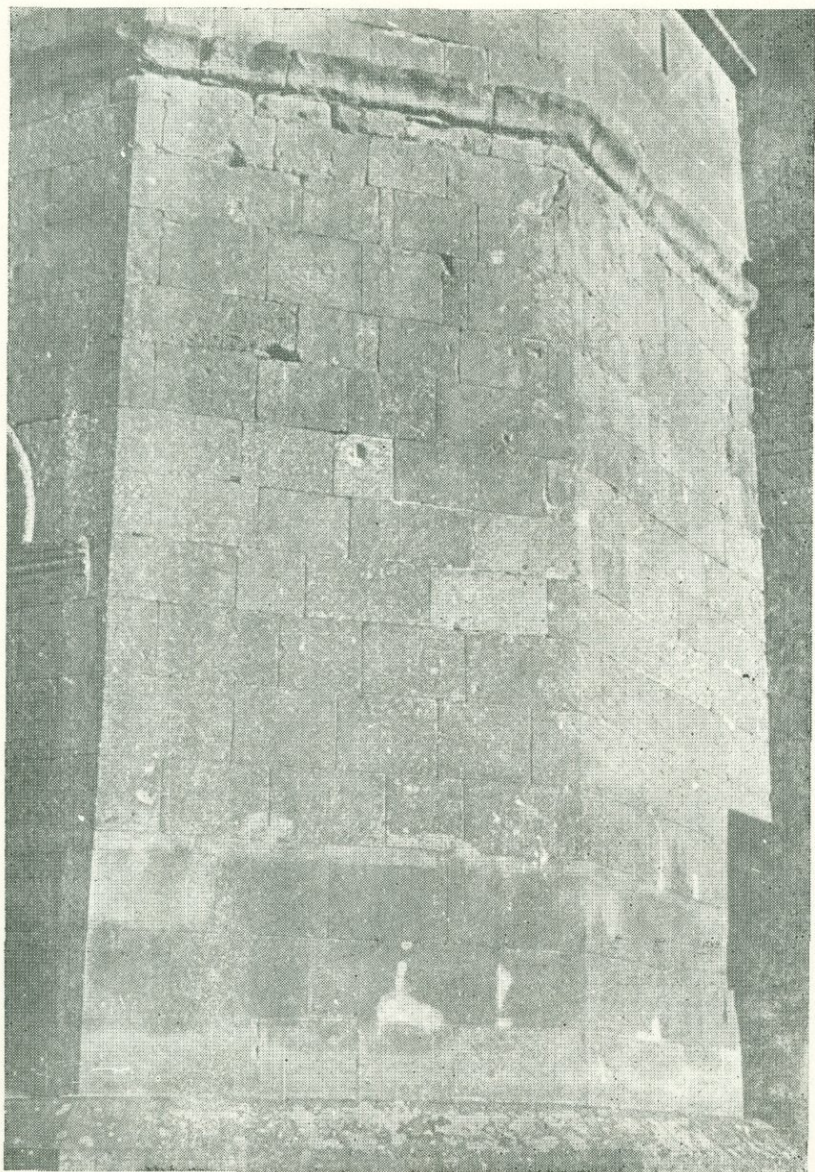
Осмотр стен первоначальной части церкви показывает, что туф здесь, хотя и сохранился более или менее удовлетворительно, имеет менее свежий вид, особенно в поясах и карнизах, где он подвергся явному выветриванию. На фиг. 58 можно заметить, что кроме цоколя, о котором говорилось выше, нижние три ряда облицовки стены явно отличаются по цвету и свежести от вышележащих рядов. По-видимому, эти ряды тоже были обновлены. Следует также отметить, что в туфовом цоколе здания, особенно на южном фасаде, местами наблюдаются признаки выветривания камня (на северном фасаде наклонные части цоколя покрыты мхом или лишайниками). Таким образом можно считать, что в цоколях туф ереванского типа начинает выветриваться за срок менее чем одно столетие, а в частях стен мало доступных атмосферной влаге он может сохраниться 16 и более столетий.

Микроскопическое изучение образца выветрелого туфа из цоколя показывает, что вулканический пепел у наружной поверхности туфа в значительной степени карбонатизирован (фиг. 59). Это указывает на отложение карбонатов у поверхности туфа, что является, по-видимому, причиной коркообразования.

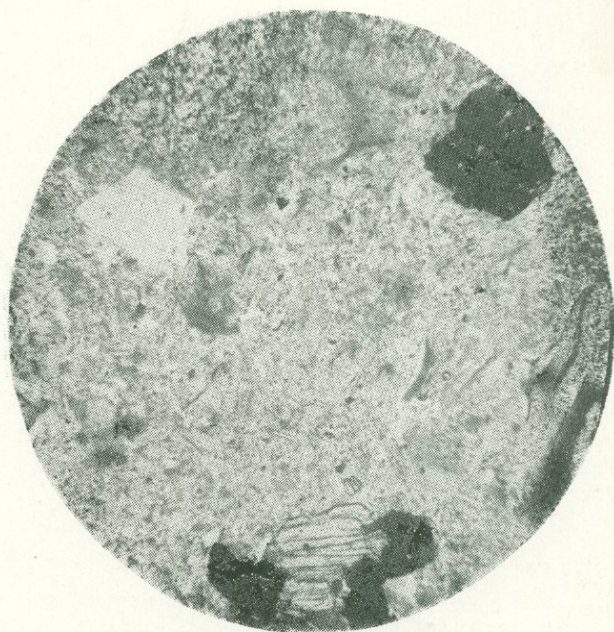
На фиг. 60 представлен притвор кафедральной церкви, пристроенный в XVII в (1653—1658 гг.). Весьма ажурная резьба по камню сохранила вполне свежий вид.



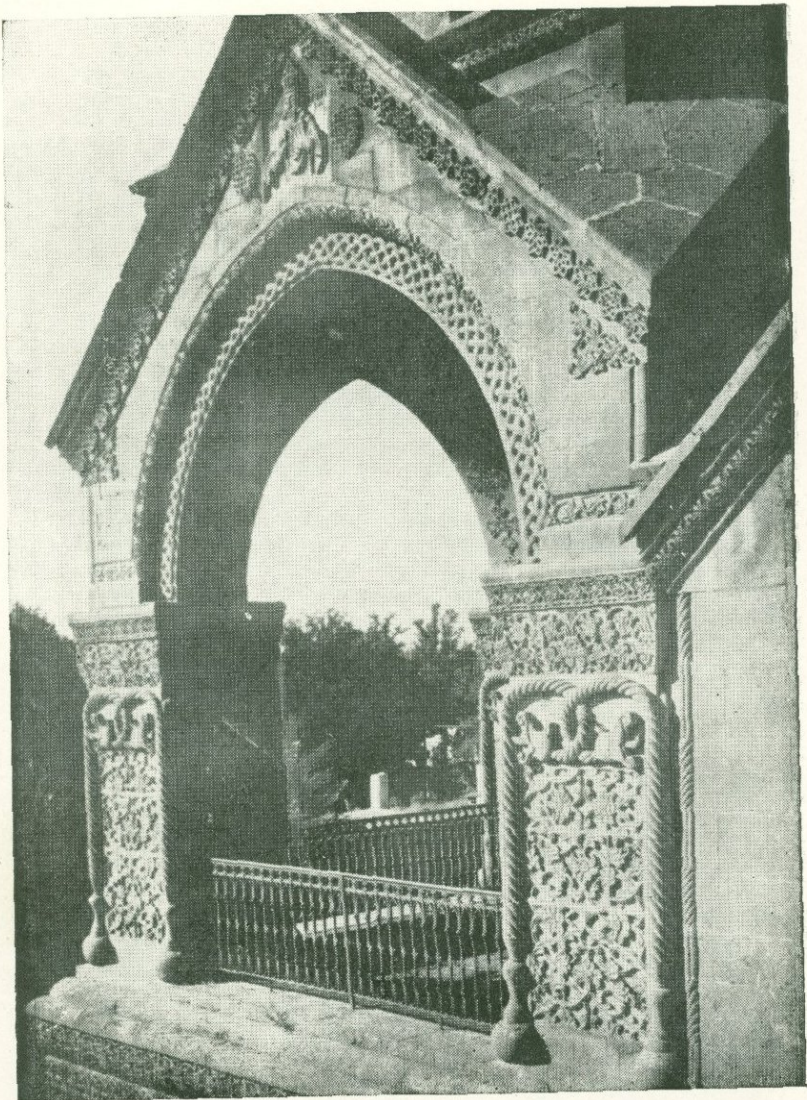
Фиг. 57. Эчмиадзинский кафедральный собор. 301—303 гг.



Фиг. 58. Эчмиадзинский кафедральный Собор. 301—303 гг. Стена первоначальной части здания.



Фиг. 59. Эчмиадзинский кафедральный собор. Микрофотография шлифа из наружной стороны корки выветривания цоколя. Увелич. 100X. Ник.—. Туфовая масса равномерно пропитана новообразованным карбонатом.



Фиг. 60. Эчмиадзинский кафедральный собор. Колокольня у западного входа (пристройка 1653—1658 гг.).



Фиг. 61. Церковь Рипсимэ, 618 г.



Фиг. 62. Церковь Рипсимэ, 618 г. Образование корки на цоколе и отслаивание ее.



Фиг. 63. Звартноц, 640—660 гг.



Фиг. 64. Звартноц, 640—660 гг.

Церковь Рипсимэ, построена католикосом Комитасом в 618 г., реконструкции подверглась в 1653 г., колокольня пристроена в 1790 г.

Сооружение в целом—и стены, и цоколь—выполнено из туфа ереванского типа из того же карьера „Лусаворич“. Сохранность его в общем хорошая (фиг. 61). Однако в нижних рядах цоколя местами (особенно на южном и восточном фасадах) наблюдается образование каменной корки и отслаивание ее (фиг. 62).

Звартноц

Трехярусная церковь св. Григория или „Звартноц“ построена католикосом Нерсесом III („Строитель“) в 640—660 гг. Это великолепное сооружение было разрушено землетрясением в X веке и погребено под землей. В настоящее время оно представляет собой руины, вскрытые в 1901—1907 гг.

Большинство камней — архитектурных фрагментов Звартноца из туфа ереванского типа черного, коричневого и красного цветов хорошо сохранилось (фиг. 63 и 64). Но отдельные камни, очевидно рыхлой структуры, все же подверглись выветриванию (фиг. 65). Наблюдаются также отдельные выветрелые участки в некоторых в общем хорошо сохранившихся камнях.

Произведено изучение одной пробы туфа, взятой из выветрелого камня Звартноца. Микроскопическое изучение двух шлифов, изготовленных из поверхностной части указанной пробы и из внутренней части, показало следующее.

Порода в основном состоит из желто-бурого вулканического пепла, который составляет более чем 60% площади шлифа. В обоих шлифах пепел пропитан мельчайшими вторичными образованиями, действующими на поляризованный свет. Эти вторичные продукты иногда образуют мелкоагрегатные скопления. В распределении последних каких-либо закономерностей не наблюдается.

Обломочный материал представлен кристаллами моноклинного и реже ромбического пироксена, плагиоклаза, вулканического стекла и эффузивных пород. Среди последних встречаются как совершенно свежие, так и сильно измененные (обоженные?), в которых из первичных компонентов сохранены лишь микролиты.

Химический состав туфа приводится в табл. 14.

Таблица 14

№№ проб	Место взятия пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O + K ₂ O	SO ₃	п.п.п.
15а	Звартноц. Наружная часть выветрелого камня.	59,88	0,74	14,91	5,65	3,81	3,78	5,93	0,55	4,71
15	То же, внутренняя часть	62,42	0,65	16,81	4,59	1,44	3,42	7,93	0,31	2,56

Повышенное содержание в наружной части туфа MgO и CaO, а также п. п. п. показывает, что у поверхности туф карбонатизирован в большей степени. Возможно также наличие некоторых сульфатов, на что указывает небольшое увеличение содержания SO₃. Повидимому одной из причин выветривания туфа является скопление солей у наружной его поверхности при периодических испарениях воды, подсасываемой туфом.

§ 15. ДРЕВНЕЕ СООРУЖЕНИЕ В АПАРАНСКОМ РАЙОНЕ

В райцентре Апаран одноименного района находится древнее сооружение из туфа черного цвета ереванского типа — Касахская базилика, датируемая V веком.

На окраине Апарана имеется месторождение, где очевидно и был добыт камень для возведения базилики.

Туф в облицовке Касахской базилики сохранился хорошо. Выветривание поверхности облицовки наблю-

Таблица 15

Физико-механические свойства туфа ереванского типа из Касахской базилики

№№ проб и образцов	Место взятия пробы	Объем. вес в кг м ³	Удельн. вес в г/см ³	Пористость в %	Водопогл. по весу в %	Коэфф. водонасы- щения	Предел прочности при сжатии в кг/см ²		
							в сухом сост.	в водона- сыщ. сост.	после 25 циклов замораж.
16—1	Касахская (Апаранская) базилика	1820	—	28,0	11,1	—	169	—	—
16—2	„	1760	—	30,4	12,8	—	154	—	—
16—3	„	1770	—	30,0	12,0	—	174	—	—
16—4	„	—	—	—	—	—	—	—	112
16—5	„	—	—	—	—	—	—	—	92
16—6	„	—	—	—	—	—	—	—	85
	В среднем по пробе № 16	1780	2,53	29,6	12,0	0,72	166	—	96
17	Апаранское место- рождение туфа	1655	2,50	33,7	15,3	0,75	174	131	119

дается лишь в цокольной части сооружения, выложенной из того же туфа. При этом следует отметить, что базилика была частично засыпана землей и расчищена лишь в последние годы, следовательно туфовый цоколь долгое время находился в условиях попеременного обильного обводнения.

В целях выявления степени изменения физико-механических свойств туфа в результате многовековой службы, нами была испытана одна проба камня (6 образцов), взятая из сооружения. Одновременно испытанию подверглись проба (14 образцов), взятая из туфового месторождения на окраине с. Апаран, из действующего в настоящее время карьера. Результаты испытаний обеих проб приводятся в таблице 15.

Как видно из этих результатов, проба из сооружения по своим показателям несколько уступает пробе из месторождения: при более высоком объемном весе камень из сооружения имеет несколько меньшую прочность и морозостойкость. Однако разница эта, с учетом возможного разброса свойств камня, не существенна. Таким образом, можно констатировать, что после 15-вековой службы в обследованном памятнике архитектуры, туф ереванского типа не претерпел чувствительной потери прочности и сохранил достаточную морозостойкость.

Этот вывод тем более важен, что Апаранский район, где находится Касахская базилика, отличается суровым горным климатом.

§ 16. СООРУЖЕНИЯ В КОТАЙКСКОМ РАЙОНЕ (VII—XIX ВВ.)

В Котайкском районе обследован один из древних туфовых сооружений—Аванский кафедральный собор (в с. Аван), а также два сооружения, относящиеся к XIX в. в селах Арамус и Ариндж.

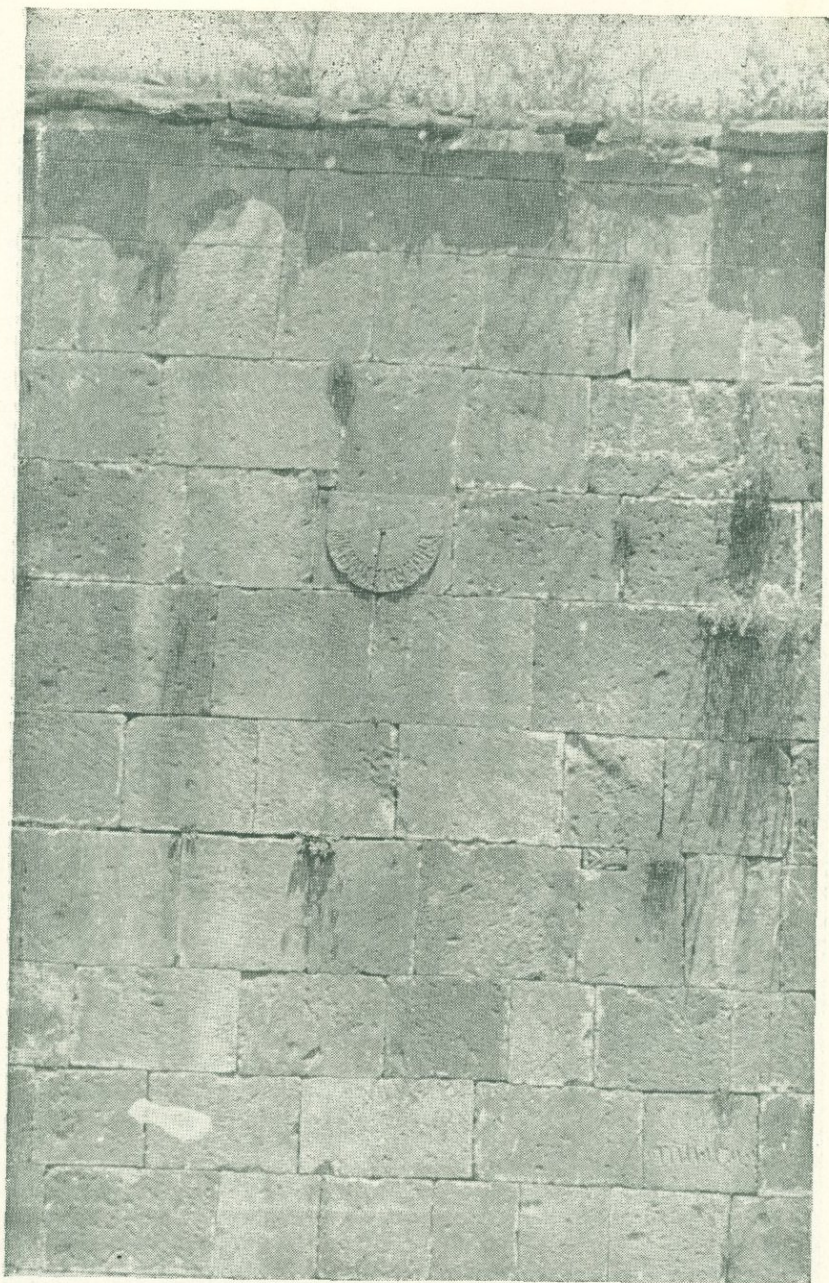
Аванский кафедральный собор (церковь Цирана-



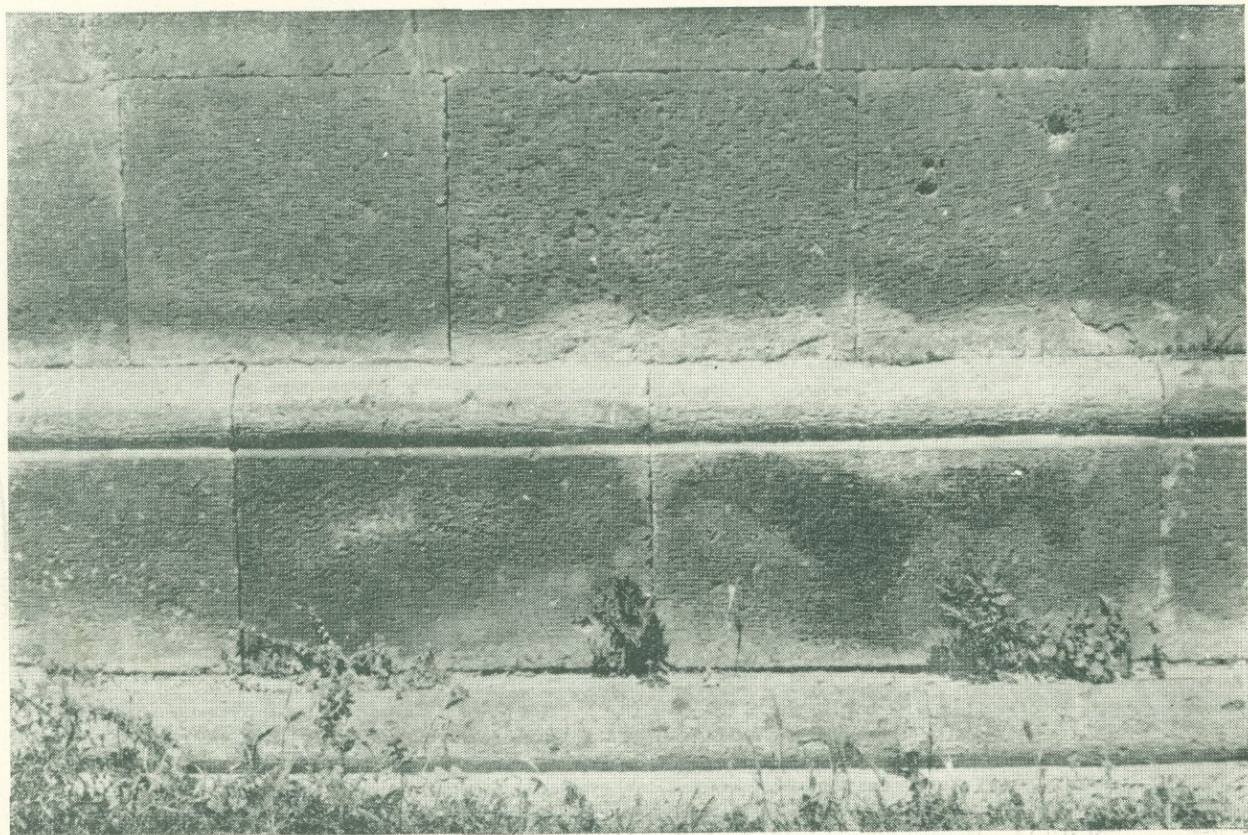
Фиг. 65. Звартноц, 640—660 гг.



Фиг. 66. Церковь Циранавор в с. Аван, 590—610 гг.



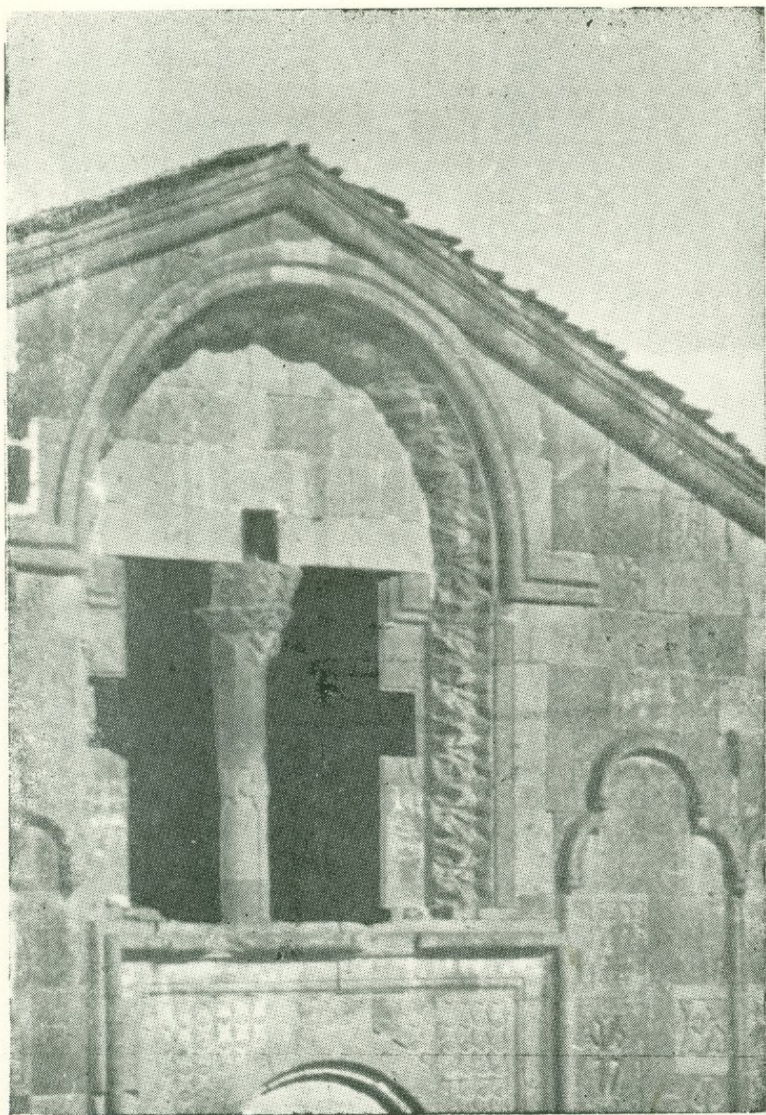
Фиг. 67. Церковь Сурб Акопа в с. Арамус, 1867 г.



Фиг. 68, Церковъ в с. Ариндж, 1880 г. Цоколъ,



Фиг. 69. Ованнаванк, 1217—1251 гг. Общий вид с запада.



Фиг. 70. Ованнаванк. Хорошо сохранившаяся часть облицовки церкви, 1217 г.

вор), построен в 590—610 гг. католикосом Византийской части Армении Иоанном. Сооружение целиком, включая и цоколь, возведено из туфа Аванского месторождения (ереванский тип) черного и красного цветов. В нижних рядах камней, до высоты примерно 2—3 м от уровня земли, а также в карнизе и в верхней части стены полосой около 1 м, наблюдается значительное выветривание туфа, особенно на южном фасаде (фиг. 66). Следует при этом иметь в виду, что сооружение много веков стояло без крыши и частично было засыпано землей.

В средней части стен камни сохранились хорошо; высеченные на них надписи остались вполне четкими.

Изучена проба, взятая из выветрелой части туфа, на высоте 0,8 м от земли (под отслаивающейся коркой камня был обнаружен белый налет).

Просмотр под микроскопом шлифов из наружной и внутренней части пробы не показало заметной разницы между ними, между тем как химический анализ выявляет некоторую разницу (см. табл. 16).

Таблица 16

№ пробы	Место взятия пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	N ₂ O ₅ + K ₂ O	SO ₃	п.п.п.
18а	Церковь Циранавор в с. Аван, выветре- лый туф, наружная часть	62,56	0,50	15,83	5,29	2,97	3,57	5,82	0,40	2,61
18	То же, внутренняя часть	63,21	0,80	16,68	4,89	1,60	3,42	6,29	0,29	2,04

Сопоставление таблиц 14 и 16 показывает, что изменения в составе туфа у наружной поверхности в церквях Звартноц и Циранавор аналогичны, хотя в последнем случае они менее чувствительны.

Церковь Сурп Акоп в с. Арамус, построена в 1867 г. В строительстве этой церкви, повидимому, были использованы камни из руин древней церкви VII в., находящейся в этом же селении.

Цоколь и карниз церкви Сурп Акоп частично выветрелы, стены же сохранились сравнительно хорошо (фиг. 67).

Церковь в с. Ариндж, построена в 1880 г. из туфа Аринджского месторождения (ереванский тип) красного цвета. Туфовая облицовка стен и цоколя почти не имеет видимых признаков выветривания (фиг. 68).

§ 17. СООРУЖЕНИЯ В АШТАРАКСКОМ РАЙОНЕ (XIII—XVIII вв.)

Ованнаванк

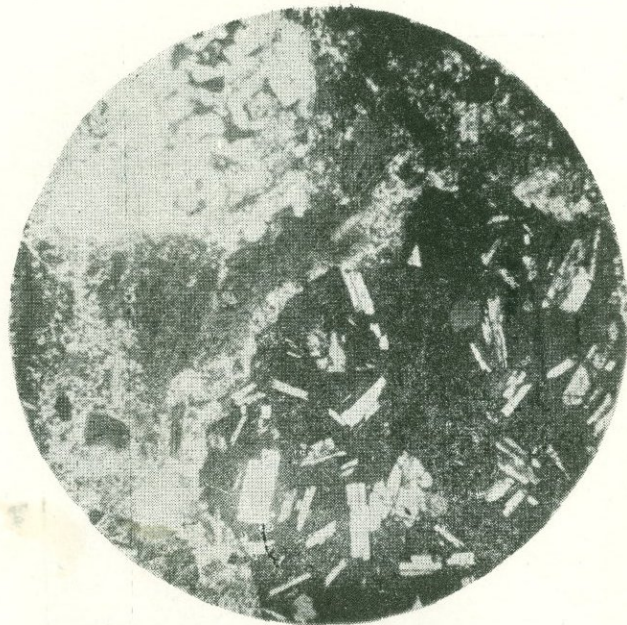
Известное под названием Ованнаванк сооружение состоит из церкви Сурп Ована-Карапета, построенной князем Ваче в 1217 г., и притвора этой церкви, который построен несколько позже—в 1251 г. князем Курд Вачутян. При строительстве в состав этого комплекса вошла базилическая церковь V в., которая подверглась реконструкции. В настоящее время трудно определить, что сохранилось из постройки V в. в наружной облицовке.

Основное помещение церкви в Ованнаванке стоит без крыши, которая обвалилась при землетрясении. Покрытие же притвора сохранилось (фиг. 69).

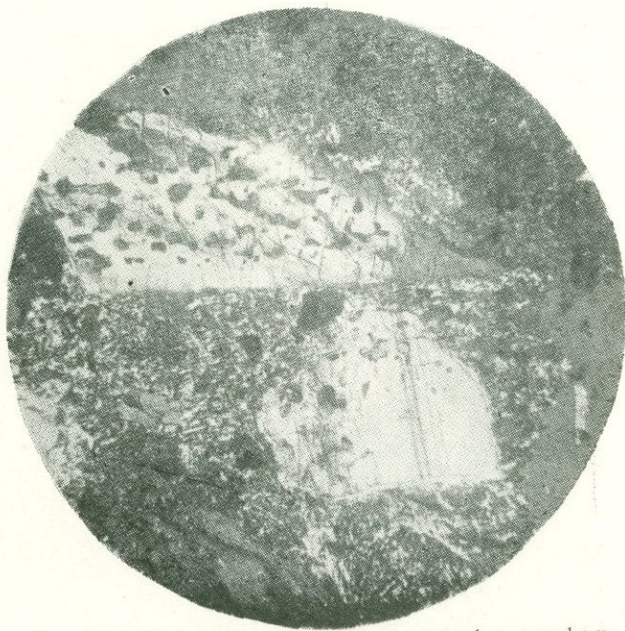
Туфовая облицовка стен и карнизы хорошо сохранились (фиг. 70), за исключением нижней части, высотой 1—1,5 м. Признаки выветривания сильнее всего проявляются на южном фасаде притвора, и меньше всего на северном фасаде. На восточном фасаде церкви (над обрывом реки) местами наблюдается сильное выветривание туфа в нижнем ряду кладки, выше—совершенно гладкая поверхность камня (фиг. 71). Повидимому, после обрушения крыши, вода застаивалась вну-



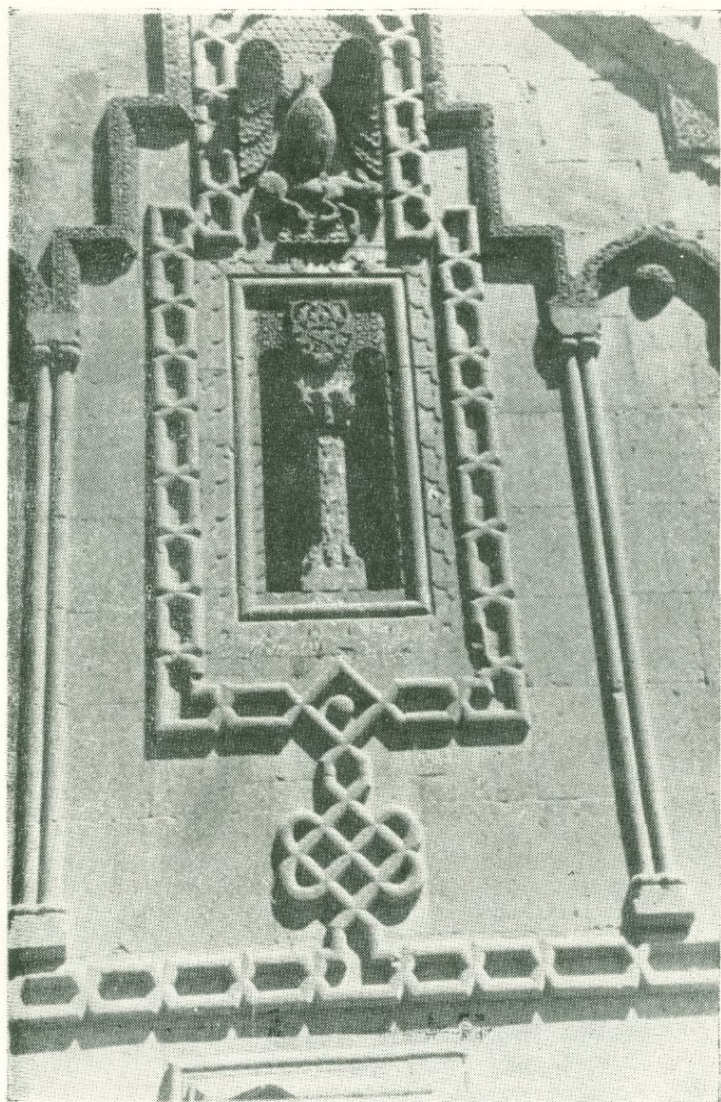
Фиг. 71. Ованнаванк. Восточный фасад церкви, 1217 г. Выветривание нижнего ряда камней.



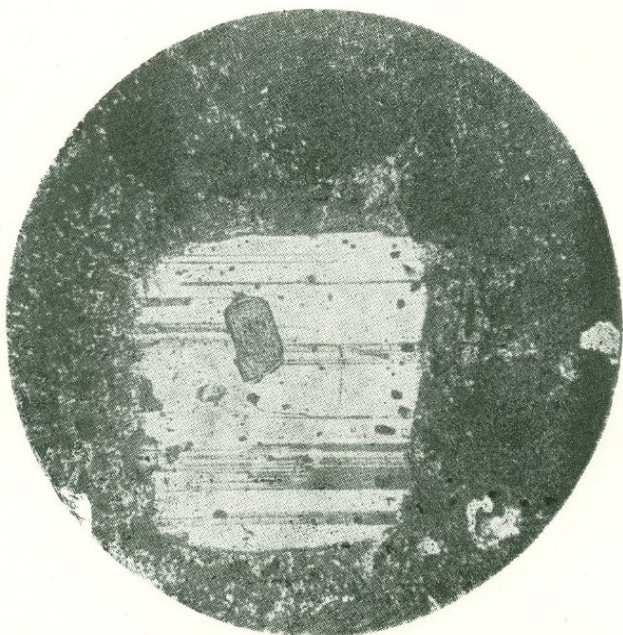
Фиг. 72. Ованнаванк. Микрофотография шлифа из наружной поверхности туфовой корки. Увелич. $100\times$. Ник.+. Наблюдаются новообразования вокруг включений андезитовой лавы и полевого шпата.



Фиг. 73. Ованнаванк. Микрофотография шлифа из внутренней стороны корки выветривания. Увелич. $100\times$. Ник.+. Наблюдается новообразование вокруг кристаллов полевого шпата,



Фиг. 74. Церковь Аствацацин в с. Егвард, 1321 г.



Фиг. 75. Церковь Аствацацин в с. Егвард. Микрофотография шлифа выветрелой части туфа. Увелич. 100 X. Ник. +. Свежий кристалл плагиоклаза погружен в пропитанную карбонатом туфовую массу.

три помещения и просачивалась в стену на высоту одного ряда (70—80 см).

Туф для строительства Ованнаванка, по преданию, был привезен из месторождения у с. Сагмосаванк того же Аштаракского района.

Для исследования нами был взят из сооружения образец корки камня из выветрелой части, а также порошок, скопившийся под этой коркой. Результаты исследования приводятся ниже.

Микроскопическое описание шлифов из наружной поверхности туфовой корки

Туфовая порода подверглась изменениям. Продукты изменения составляют более половины связующей массы. Здесь были встречены раздробленные включения, трещины разломов которых заполнены продуктами вторичных образований. Новообразования главным образом представлены тонкочешуйчатым агрегатом гипсоподобного минерала (менее 0,01 мм). Новообразования концентрированы вокруг отдельных включений, часто опоясывая последние (фиг. 72 и 73). Иногда они образуют скопления в отдаленных от включений участках.

Поры в пемзовидных включениях заполнены вторичными образованиями. Обломки минералов, пород и сплошного стекла совершенно не затронуты вторичными процессами.

В шлифах из середины и из внутренней части туфовой корки вторичные образования имеют незначительное распространение.

Результаты химического анализа проб из Ованнаванка приведены в табл. 17.

Сравнение химических составов, приведенных в табл. 17, показывает резкое увеличение в порошке выветривания SO_3 , а также CaO , что свидетельствует об образовании сульфата кальция или гипса. Большое содержание влаги

(4,50%) в пробе показывает, что гипс был очевидно двуводный и потерял свою кристаллизационную воду при сушке.

Разница в содержании SO_3 в пробах составляет $11,44 - 1,09 = 10,35\%$, которое может связать $0,7 \cdot 10,35 = 7,25\%$ CaO ; остаток CaO в пробе № 19 составляет $11,06 - 7,25 = 3,81\%$, что нормально для туфа ереванского типа. Если предположить, что излишек SO_3 в пробе целиком входит в состав двуводного гипса, то необходимое количество воды будет $\frac{10,35}{80,06} \cdot 2,18 = 4,66\%$. Следует отметить, что наряду с сульфатом кальция в порошке могли присутствовать в небольшом количестве и другие сульфаты.

Церковь Аствацацин в с. Егвард, построена в 1321 г. из красного туфа ереванского типа Егвардского месторождения. Туф хорошо сохранился в облицовке стен с рельефной тонкой резьбой (фиг. 74), а также в карнизе.

Таблица 17

№ проб	Место взятия пробы	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	$\text{Na}_2\text{O} +$ K_2O	SO_3	Влага	п. п. п.
19	Ованна- ванк, из се- редины ту- фовой кор- ки вывет- ривания	59,94	0,23	15,27	5,52	2,79	5,25	5,91	1,09	0,70	3,54
20	Белый по- рошок из под корки выветрива- ния пробы № 19	45,13	0,71	11,42	4,69	1,95	11,06	6,24	11,44	4,50	3,06

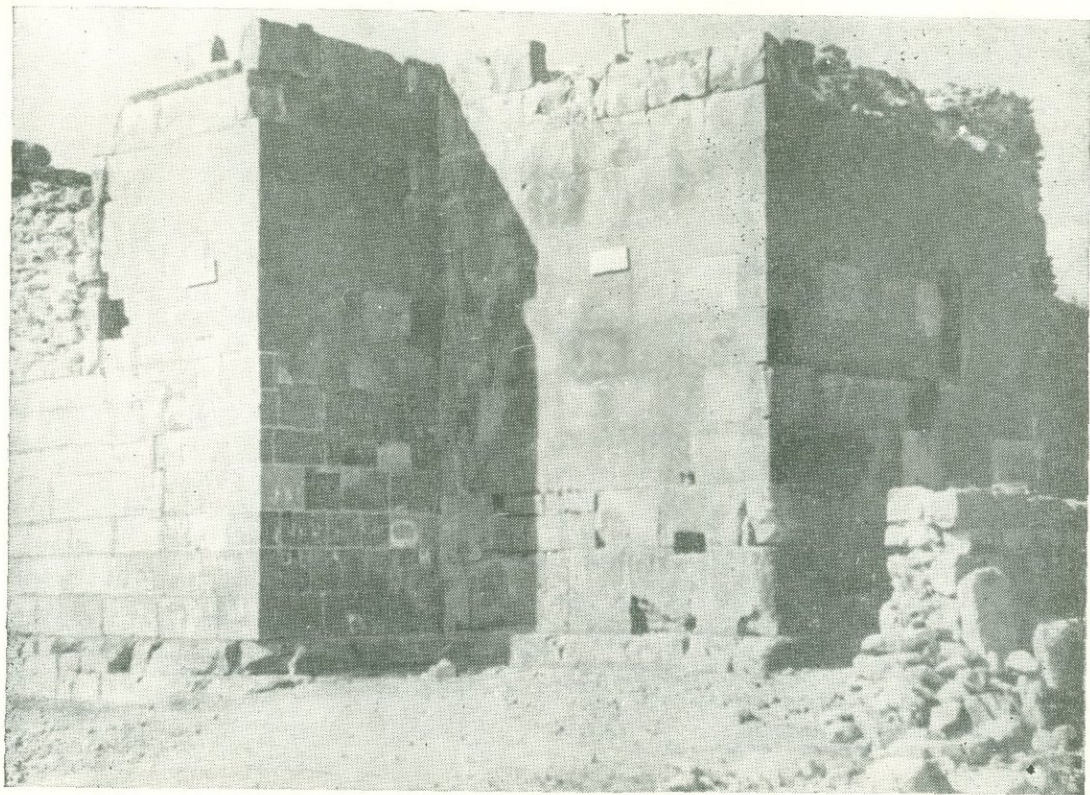
Нижняя часть стен—от земли до высоты 1 м (два ряда камня), особенно на южном фасаде, подверглись



Фиг. 76. Мугнийский монастырь, 1664—1683 гг.



Фиг. 77. Церковь Аствацацин в с. Карби, 1691 г.



Фиг. 78. Церковь в с. Мансян, VII в. Общий вид с юго-востока.

выветриванию. Образец из выветрелой части туфа изучен под микроскопом.

Более 80% площади шлифов представлено вулканическим пеплом желтоватого цвета, в котором очень резко выступают обломки бурого вулканического стекла, со светлыми каёмками. В качестве включений присутствуют обломки плагиоклаза, моноклинного пироксена и пород.

Вулканический пепел в шлифе из наружной части корки повсеместно изменен. Продукты изменения представлены тонкозернистыми агрегатами, сильно действующими на поляризованный свет (фиг. 75). Природа этого новообразованного минерала микроскопически не поддается определению, т. к. размеры отдельных зерен не превышают 0,005 мм. Однако новообразования представляют собой карбонат, т. к. они бурно реагируют на соляную кислоту.

Могнийский монастырь

Церковь Сурп Георг Могнийского монастыря построили монахи Ованес и Давид в 1664—1683 гг. В этом сооружении применен в основном черный туф ереванского типа (с более темными пятнами, напоминающими бюраканский туф), а красный туф использован в качестве отделки (фиг. 76).

Сохранность облицовки, в том числе и цоколя, выложенного из туфа, хорошая. Исключение составляют места подтеков воды (сверху вниз по фасаду), что является следствием неисправностей крыши.

Церковь Аствацацин в с. Карби, построена в 1691 г. из такого же черного и красного туфа, какие применены в Могнийском монастыре. Карьер черного туфа, как указывают жители с. Карби, находится в 0,5 км от этого селения (карьер Чичекенд), а красный привезен из Аштарака (карьер Ахмедогли).

Туфовая облицовка стен церкви Аствацацин, в том числе и в части цоколя, сравнительно хорошо сохранилась, если не считать некоторую неровность поверхности, что, впрочем, может быть объяснено недостаточно чистой теской камня (фиг. 77). Местами наблюдается выветривание туфа в местах подтеков (из-за повреждения крыши). В этих местах, под отслаивающейся коркой туфа, имеется белый налет.

Рядом с церковью Аствацацин стоит часовня с датой 22½ древне-армянского летоисчисления, т. е. 787 г., что в переводе на современное летоисчисление составляет $787 + 551 = 1338$ г. Здесь туфовый цоколь подвергся сильному выветриванию, что, по-видимому, следует приписать более древнему возрасту сооружения, чем церковь Аствацацин.

§ 18. СООРУЖЕНИЯ В Г. ЛЕНИНАКАНЕ И ЕГО РАЙОНАХ

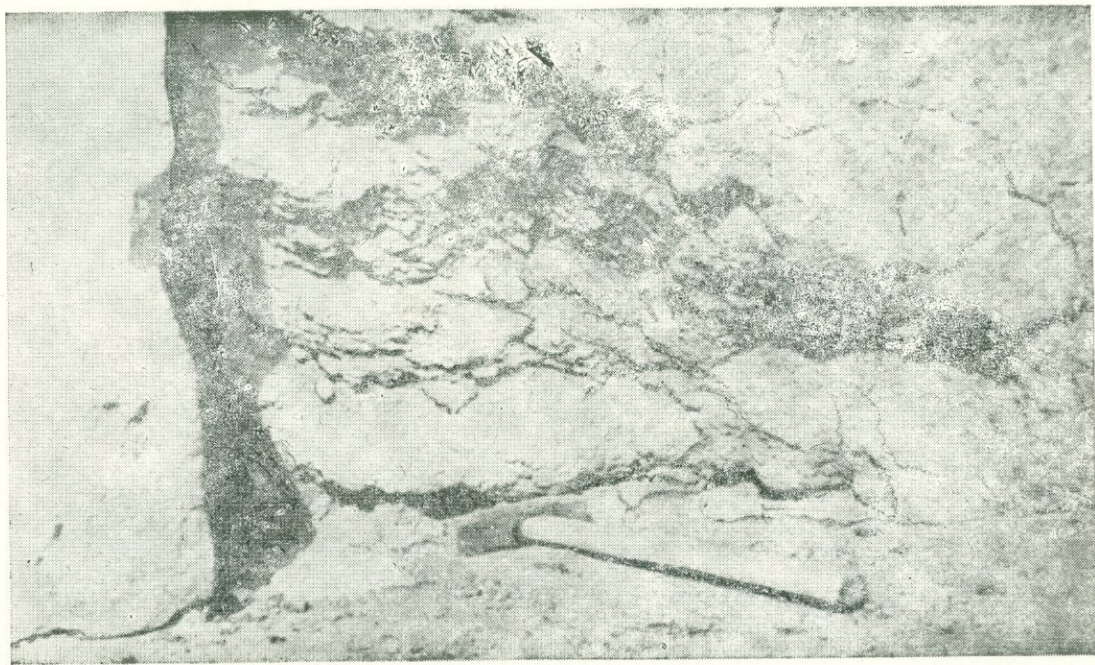
Обследованы наиболее значительные древние сооружения из туфов ереванского типа в прилегающих к г. Ленинакану Ахурянском и Агинском районах и в самом городе Ленинакане. Результаты обследования ниже приводятся в хронологическом порядке дат постройки сооружений.

Карнутская базилика

У с. Карнут (бывш. Дираклар) Ахурянского района находится древняя базилика, относимая к IV—V векам, построенная из черного местного туфа. Сооружение было восстановлено из руин в 1861 г., с применением туфа черного и красного цветов. В настоящее время базилика находится в полуразрушенном состоянии, стоит без кровли. При осмотре удастся выделить древнюю кладку от кладки прошлого столетия. К древней кладке



Фиг. 79. Церковь в с. Маисян, VII в. Камень нижнего ряда с внутренней стороны стен.
Коркообразование.



Фиг. 80. Церковь в с. Маисян, VII в. Камень нижнего ряда на южном фасаде. Превращение туфа в рыхлую массу на глубине 15—20 см.

относится, в частности, цоколь, выложенный из очень твердого туфа (объемный вес 1800 кг/м^3 , водопоглощение 12,2%), почти не измененного, и первый ряд стены из менее твердого туфа (1650 кг/м^3 и 17,1%), на котором наблюдается поверхностное выветривание, образование белого налета (солевых выцветов). Камни древней кладки имеют большие размеры, порядка 60—65 см по высоте и свыше 1 метра по длине. Туф в верхних рядах кладки, высотой ряда 43 см, совершенно свежий.

Церковь в с. Маисян Ахурянского района, построена в VII в., отремонтирована в XIX в. В настоящее время полуразрушена, стоит без кровли (фиг. 78).

В нижних рядах кладки наблюдается выветривание туфа—коркообразование и накопление солей под коркой (фиг. 79), а также, изредка, разрыхление камня, с образованием сети трещин (фиг. 80).

Микроскопическое изучение показывает, что в порах туфа с внутренней стороны корки выветривания имеется скопление вторичного тонкоагрегатного образования.

Химическому анализу подверглись две пробы, взятые из церкви с. Маисян: проба № 21, представляющая собой продукт выветривания туфа в виде серого порошка из-под корки, толщина которой доходит до 2 см (фиг. 79); проба № 22—порошок разрыхленного выветриванием черного туфа из камня нижнего ряда южного фасада (фиг. 80).

Результаты химических анализов этих двух проб, в сопоставлении с средними результатами химического анализа туфов Маисянского месторождения [6], приводятся в табл. 18.

Анализ данных таблицы 18 показывает, что продукты выветривания туфа обогащены сульфатом кальция. Излишек СаО в пробе № 21, по сравнению с туфом из месторождения, составляет $6,13 - 3,71 = 2,42\%$, что может связать $2,42 : 0,7 = 3,46\%$ SO_3 , в пробе же присут-

№№ проб	Место взятия пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
21	Церковь в с. Маи- сян (порошок из-под корки выветрива- ния)	57,05	0,85	14,07	4,08
22	Церковь в с. Маисян (порошок разрыхл. туфа)	55,12	0,90	17,75	2,60
	Маисянское место- рождение туфа (в среднем)	63,57	18,54		4,65

ствует большее количество SO₃—4,52%. Следовательно, часть SO₃ в количестве 4,52—3,46 = 1,06%, очевидно, входит в другие соединения. Если сульфат кальция в пробе представлен двуводным гипсом, тогда потребное количество кристаллизационной воды будет $\frac{3,46}{80,06} \cdot 2,18 = 1,57\%$.

В пробе № 22 излишек CaO составляет 7,06—3,64 = 3,42%, что может связать $3,42 \cdot \frac{80,06}{50,08} = 4,88\%$ SO₃. Однако в пробе имеется всего 2,39% SO₃, что может связать только $2,39 \cdot 0,7 = 1,67\%$ CaO в сульфат кальция. Здесь, очевидно, часть CaO в количестве 3,42—1,67 = 1,75% представлен в карбонате. Для этого требуется CO₂ в количестве $1,75 \cdot \frac{44,01}{56,08} = 1,38\%$. Потребное количество воды для двуводного гипса $1,67 \cdot \frac{2,18}{80,06} = 0,75\%$. Следовательно, п. п. п. должно быть не менее 1,38 + 0,75 = 2,13%. В пробе же п. п. п. составляет 5,92%.

Эти расчеты являются ориентировочными, поскольку

Таблица 18

MgO	CaO	Na ₂ O+ +K ₂ O	SO ₃	п. п. п.	Сумма	Влага
1,26	6,13	2,15	4,52	4,85	99,46	2,12
1,65	7,06	6,63	2,39	5,92	100,02	2,14
1,51	3,71	5,65	—	2,03	99,66	—

одним из исходных данных принят средний химический состав туфа месторождения, который, конечно, не может точно соответствовать первоначальному составу испытанных проб туфа из древнего сооружения. Однако несомненно, что в процессе многовековой службы туф был пропитан растворенными солями, главным образом сульфатом и частично карбонатом кальция, которые постепенно скопились в поверхностном слое камня и явились причиной коркообразования и отслаивания.

Церковь Григор Лусаворич в с. Айкадзор (бывш. Кошаванк) Агинского района. Построен в 980—985 гг. епископами Саркис и Согомон. Сооружение облицовано красным и частично черным туфом ереванского типа, хорошо сохранившимся как в гладкой облицовке стен, так и в частях с высеченными надписями и в тонких архитектурных деталях (фиг. 81). Цоколь, выложенный из того же туфа, частично выветрел. Несмотря на перенесенные землетрясения, церковь сохранила свою целостность и имеет хороший вид.

Испытание отобранных из цоколя двух образцов туфа показало, что подвергшийся выветриванию камень имеет сравнительно низкий объемный вес (1380 кг/м^3) и большое водопоглощение (25,6%). Соответствующие значения для нетронутого выветриванием камня были— 1780 кг/м^3 и 10,6%.

Мармашен

В комплекс монастыря Мармашен входят 3 церкви: хорошо сохранившаяся Главная церковь и полуразрушенная Вторая церковь, построенные князем Ваграм Пахлавуні в 988—1029 гг. и сравнительно небольшая Третья церковь, построенная в XIII в. (фиг. 82).

Монастырь Мармашен возведен из местного розовато-красного туфа ереванского типа. В Главной церкви использованы крупные блоки различных размеров. В нижнем ряду высота блоков составляет 2,0 м., ширина 1,45 м и меньше. Размеры блоков кверху постепенно уменьшаются (фиг. 83). Туф в облицовке стен, в т. ч. в карнизах, поясах, приставных колоннах, наличниках и др. архитектурных деталях, хорошо сохранился (фиг. 84).

Цоколи выложены из того же туфа, что и стены. Они представляют собой ступенчатую кладку из трех рядов, которая в значительной степени подверглась выветриванию. Во второй церкви наблюдается выветривание туфа не только в цоколе (фиг. 85), но и местами в первом ряду облицовки стен (фиг. 86). По-видимому, часть этого сооружения была засыпана землей.

Выветривание туфа проявляется в коркообразовании, отложении солей под коркой, а иногда и на поверхности камня, а также в отслаивании поверхностного слоя и образовании трещин.

Микроскопическое изучение пробы, отобранной из выветрелой части туфа в Мармашене, показывает, что



Фиг. 81. Церковь Григор Лусаворич в с. Айкадзор, 980—985 гг.
Общий вид с востока.

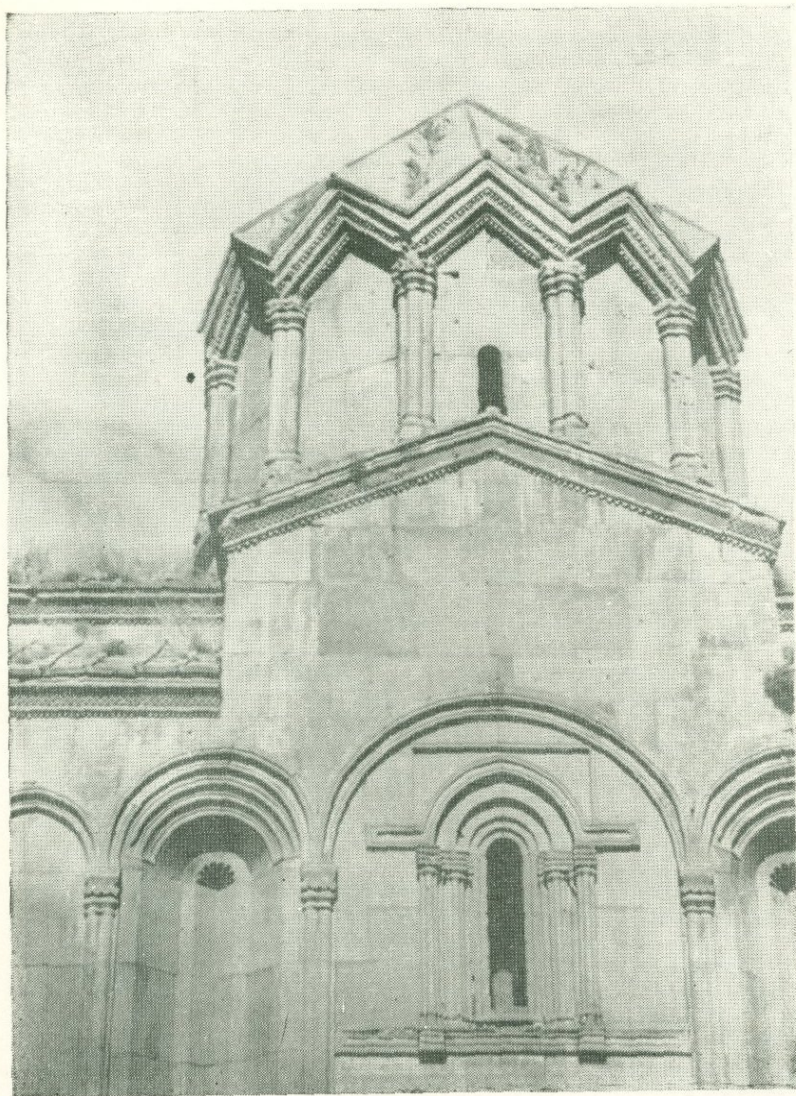




Фиг. 81. Мармашен, X—XIII вв. Общий вид с юго-запада.



Фиг. 83. Мармашен. Главная церковь, 988—1029 гг. Фрагмент нижней части южного фасада.



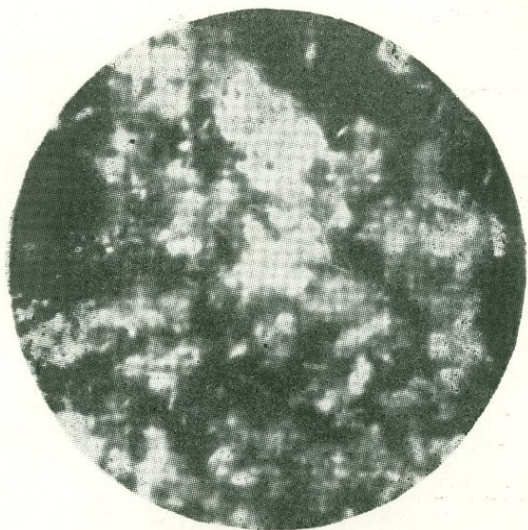
Фиг. 84. Мармашен. Главная церковь, 988—1029 гг. Фрагмент
верхней части южного фасада.



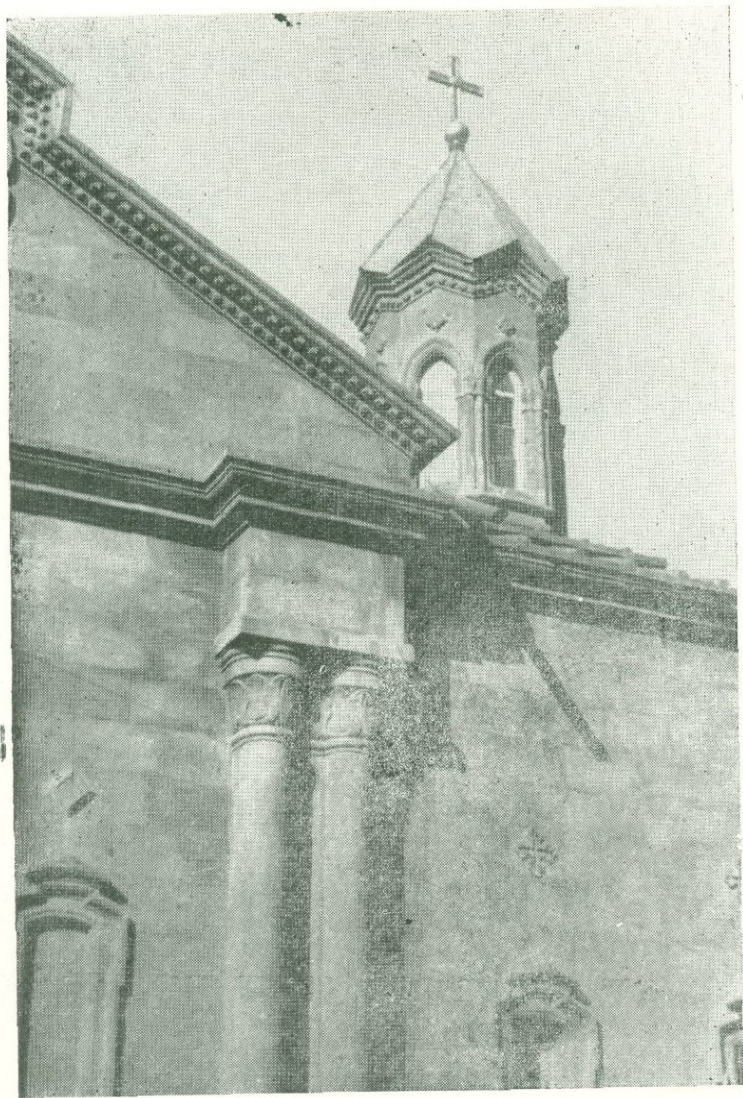
Фиг. 85. Мармашен. Вторая церковь, X—XI вв. Цоколь.



Фиг. 86. Мармашен. Вторая церковь, X—XI вв. Нижний ряд облицовки стены.



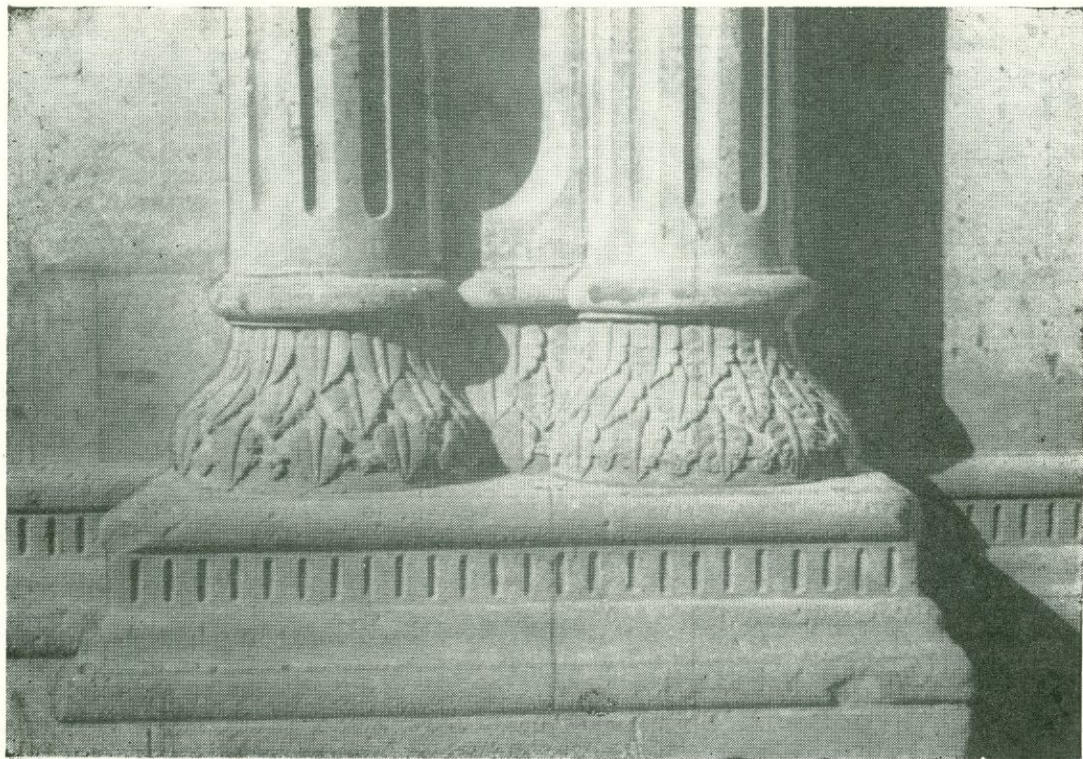
Фиг. 87. Мармашен. Микрофотография шлифа из наружной части облицовочного камня. Увелич. 200 X, ник. +. Сероватые участки представляют собой скопления вторичного карбоната и мелко-чешуйчатого минерала в порах туфа.



Фиг. 88. Церковь Аствацацин (Йотверк) в г. Ленинакане XVII в.
Вид с востока.



Фиг. 89 Церковь Аствацацин (Йотверк) в г. Ленинакане, XVII в.
Колонны из восточном фасаде.



Фиг. 90. Церковь Аствацацин (Йотверк) в г. Ленинакане, XVII в. Базы колонн на восточном фасаде.

основные компоненты туфа (вулканическое стекло, плагиоклаз и др.) свежи, но в порах камня наблюдается скопление мелкоагрегатного карбоната и мелкочешуйчатого, мелкозернистого агрегата. Последнего много в породе (фиг. 87).

Изучение этих же солей иммерсионным методом не дало возможности уточнить их состав. Зерна имеют мельчайшие размеры (менее 20 μ), бесформенны, никаких кристаллографических элементов не обнаруживают, кроме того они загрязнены пылевидными частицами. Тем не менее были определены показатели светопреломления многочисленных зерен из порошка солей скопившихся под коркой выветривания туфа. Значения показателя преломления колеблются в пределах 1,515—1,523, что не позволяет отнести соли к определенному минералу, так как эти значения соответствуют и кальциту, и гипсу.

Произведенные химические анализы продуктов выветривания туфа, отобранных из второй церкви монастыря Мармашен, дают возможность уточнить состав скопившихся в туфе солей.

В табл. 19 приводятся результаты анализов пробы № 23, представляющей собой массу разрыхленного выветриванием туфа коричневого цвета, и пробы № 24, являющейся порошком белого цвета из-под корки выветривания красного туфа. Кроме того, для сравнения дается средний химический состав туфа Хачкарского месторождения [6], расположенного недалеко от монастыря.

Рассмотрение данных табл. 19 показывает, что накопившиеся под коркой выветривания туфа соли представляют собой не что иное, как гипс и карбонат кальция. Содержание гипса в белом порошке из-под корки выветривания составляет по расчету около 33%, т. е. одну треть порошка, карбоната кальция меньше—около 10%, остальное—туфовая масса. В составе разрыхленного туфа содержание указанных солей, естественно,

Химический состав продуктов выветривания

№ проб	Место взятия пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃
23	Вторая церковь Мар- машен (порошок раз- рыхленного туфа) . .	57,06	0,70	14,10	3,20
24	Вторая церковь Мар- машен (белый порошок из под корки выветри- вания туфа)	39,47	0,75	7,80	3,49
	Хачкарское место- рождение туфа (в сред- нем)	63,20	19,52		5,40

Примечание: В скобках приведены данные для туфов ереванского

меньше. Но здесь также мы имеем гипс и карбонат кальция. Таким образом, наблюдаемый в микроскоп мелкочешуйчатый, мелкозернистый агрегат, трудно поддающийся определению, химически представляет собой сульфат кальция. Скопление сульфата и карбоната кальция в порах туфа в поверхностном слое камня не оставляет сомнения в том, что эти соли являются привнесенными.

Наиболее вероятен привнос солей грунтовыми водами. „Старинное здание является как бы типом солончака, в котором процессы испарения преобладают над процессами промывания почвы и стен атмосферными осадками, вследствие чего происходит вековое засоление части грунта, находящегося под крышей, и поверхности стен, которая также защищена от прямого обмывания водой“ [11].

Таблица 19

туфа из Мармашена

MgO	CaO	Na ₂ O + +K ₂ O	SO ₃	п. п. п.	Сумма	Влага
1,50	7,23	6,89	5,18	3,66	100,32	3,16
1,26	16,85	4,72	15,31	10,60	100,24	8,65
1,47	3,25	(6,60)	(0,61)	(2,39)		

типа в среднем.

Каравансарай в с. Н. Джрапи (бывш. Чрплу) Агинского района, построен в XIII—XIV вв. Одно из редких уцелевших гражданских сооружений той эпохи. Здесь также применен туф ереванского типа, цвет — черный и коричневый. Туфовая облицовка стены, обращенной к северу, и цоколя хорошо сохранилась, местами она покрыта мхом. С других сторон Каравансарай закрыт пристройками.

Церковь Аствацацин („Йотверк“) в г. Ленинакане, построена в XVII в. Эта действующая ныне церковь прекрасно сохранилась. Облицовка со многими выступающими архитектурными деталями, выполненная из плотного черного туфа ереванского типа, имеет свежий вид (фиг. 88, 89 и 90). Даже тонкая насечка, имеющаяся в некоторых частях гладкой облицовки, совершенно не стерлась (фиг. 91).

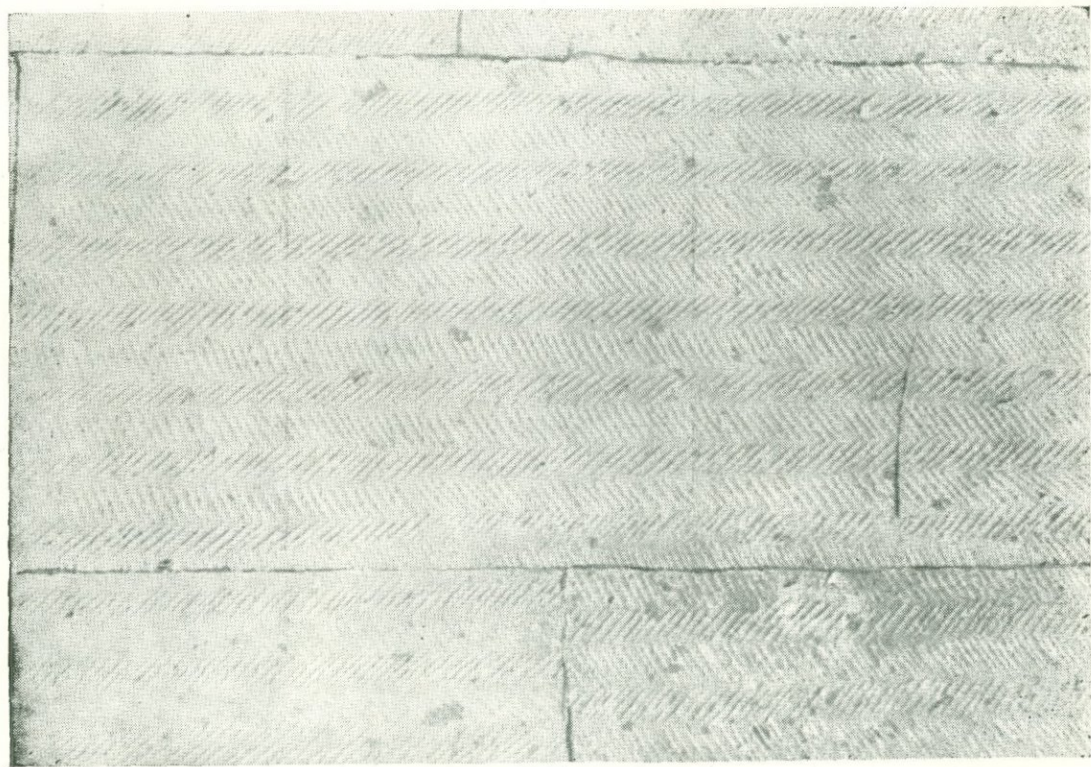
Тщательный осмотр сооружения позволил обнаружить лишь следы выветривания в туфовом цоколе — на южной и восточной сторонах.

Церковь Аменапркич в г. Ленинакане, построена в 1859—1873 гг. из черного и, частично, красного туфа ереванского типа. По некоторым сведениям красный туф для этой церкви привезен из Джаджурского месторождения.

Церковь Аменапркич, богато украшенная архитектурными деталями и орнаментами, в общем хорошо сохранилась (фиг. 92). Обследование сооружения показывает, что туф в карнизах и в некоторых местах облицовки верхней части стен подвергся частичному выветриванию, вследствие просачивания атмосферных вод из-за неисправности крыши. Туфовый цоколь сохранился неплохо, за исключением отдельных камней, очевидно менее плотных, которые показывают типичные признаки выветривания — коркообразование, отслаивание, выцветы и пр. (фиг. 93). Подобные признаки наблюдаются главным образом на южном фасаде.

Испытание образцов туфа из выветрелого и невыветрелого камней цоколя показало, что в первом случае действительно туф менее плотен (объемный вес 1530 кг/м^3 , водопоглощение $17,7\%$), чем во втором (соответственно 1760 кг/м^3 и $11,7\%$).

Магазин по ул. Шаумяна, № 148. Старое здание (дата постройки неизвестна), возведено из черного туфа ереванского типа. Цоколь, также из туфа, подвергся заметному выветриванию. Однако рядом с сильно выветрелыми камнями наблюдаются камни достаточно сохранившиеся. Для сравнения были взяты образцы из того и другого камня. Первый показал объемный вес 1060 кг/м^3 , водопоглощение $29,4\%$, второй — соответственно 1560 кг/м^3 и $18,6\%$.



Фиг. 1. Церковь Аствацацин (Иотверк) в г. Ленинакане, XVII в. Насечка камня (2-й ряд)
на восточном фасаде.



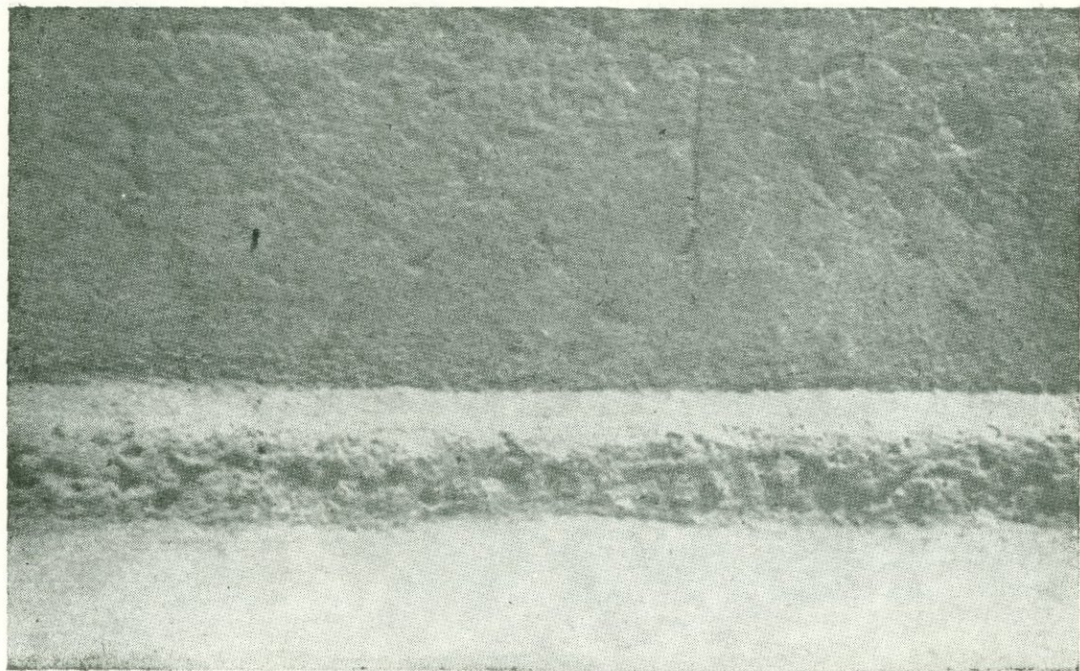
Фиг. 92. Церковь Аменапркич в г. Ленинакане, 1859—1873 гг.
Фрагмент южного фасада.



Фиг. 93 Церковь Аменаркич в г. Ленинакане, 1859–1873 гг. Выветрившиеся камни во втором ряду покая на южном фасаде.



Фиг. 94. Жилой дом по ул. Спандаряна, № 52. Цоколь,



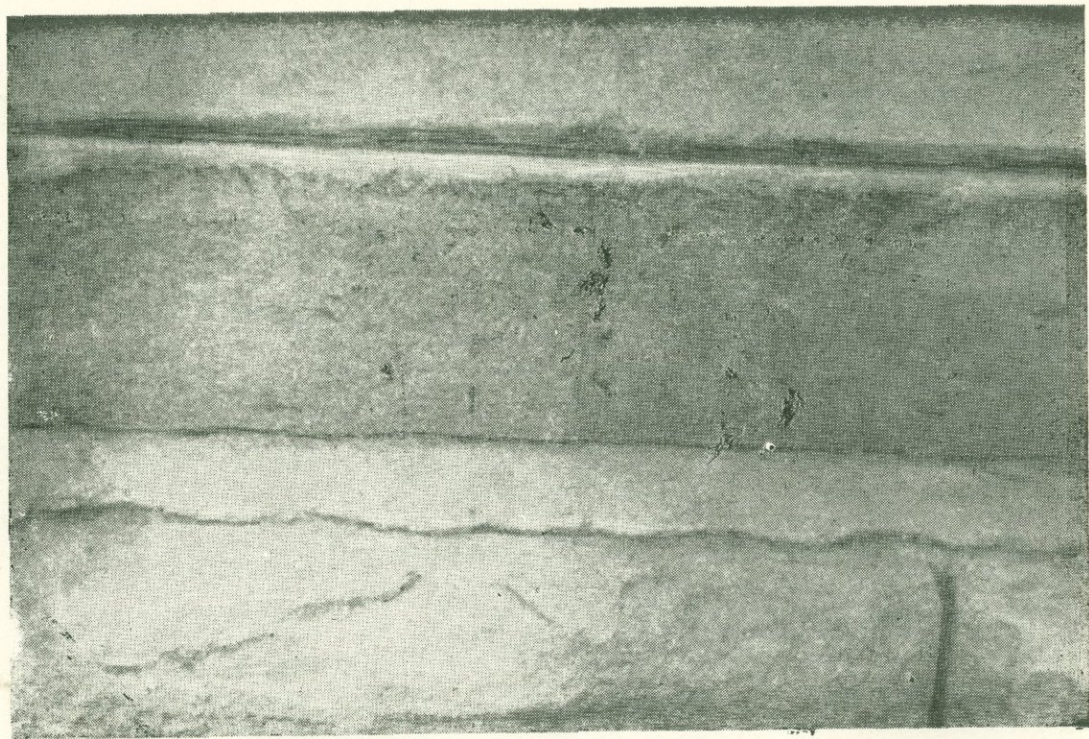
Фиг. 95. Жилой дом по просп. Октемберян, № 1. Цоколь.



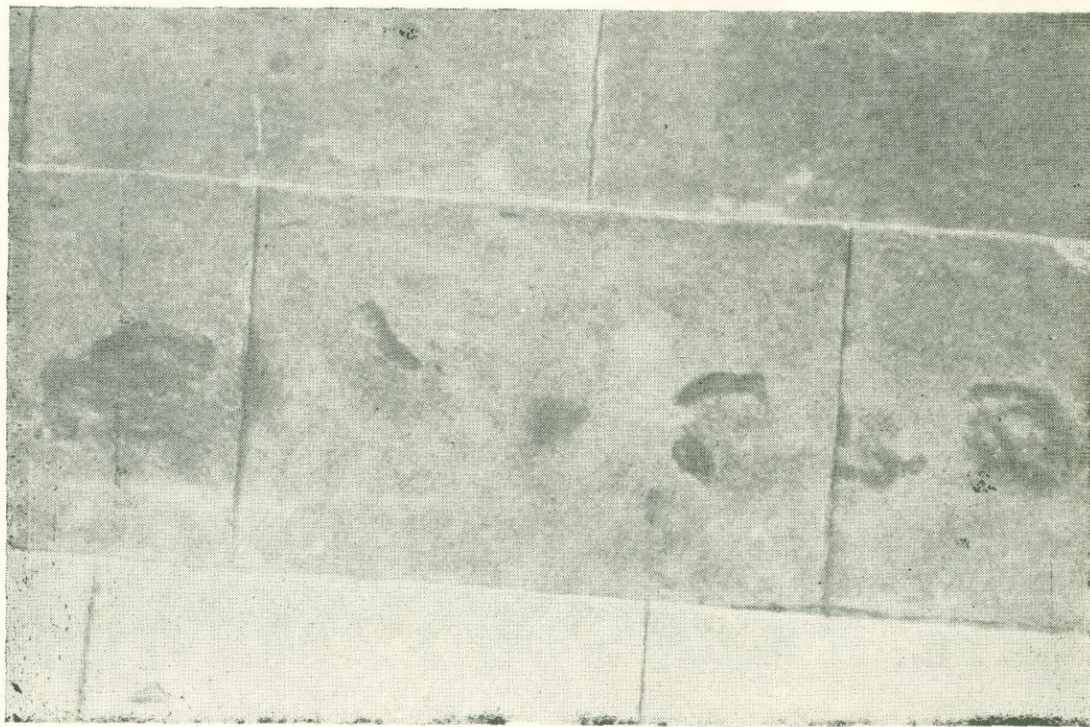
Фиг. 96. Ереванский гос. университет, 1910—13 гг. Фрагмент цоколя южного фасада.



Фиг. 97. Ереванский гос. университет, 1910—13 гг. Фрагмент цоколя по ул. Абовяна.



Ф.г. 98. Дом культуры (Армфилармония). Цоколь.



Фиг. 99. Монумент Победы в Ереване. Цоколь.

§ 19. СООРУЖЕНИЯ В Г. ЕРЕВАНЕ

В г. Ереване много старых зданий, возведенных из туфов ереванского типа, с облицовкой как стен, так и цоколя из чисто-тесаного туфа обычно черного цвета. В этих зданиях, построенных в прошлом веке или в начале текущего, туфовые цоколя в большинстве случаев подверглись значительному выветриванию. Такие здания встречаются на улицах Спандарян, Абовян, Энгельса и др. Приведем несколько примеров.

Жилой дом по ул. Спандарян № 52, трехэтажное здание, давность постройки свыше 100 лет. Облицовка из черно-красного туфа приереванских месторождений. Цоколь, также туфовый, имеет явные признаки выветривания: образование корки на туфе и местами отслаивание (фиг. 94).

Жилой дом по просп. Октемберян № 1, старое трехэтажное здание. Цоколя почти нет, туфовая облицовка доходит до отметки 0,10 м. над тротуаром. Туф сохранился сравнительно хорошо, нет коркообразования, однако камни нижних рядов имеют рябую поверхность. По-видимому наиболее нестойкие частицы камня со временем выщелачивались (фиг. 95).

Здание Ереванского государственного университета по ул. Абовян, № 104 (старый корпус), построено в 1910—13 гг. из черного туфа Мгубского месторождения. Все здание облицовано туфом, включая и цоколь.

Как видно из фотоснимков (фиг. 96 и 97), на камнях цоколя имеет место поверхностное выветривание—шелушение, отслаивание корок. Однако следует отметить, что рядом с выветрившимися камнями имеются и совершенно не тронутые разрушительным процессом камни, что является следствием неоднородности породы. Очевидно более плотные разновидности туфа ереванского типа оказываются сравнительно более стойкими.

Для стойкости туфа в облицовке имеют значение и условия доступа влаги к нему, в частности наличие гидроизоляции. В описанных выше зданиях нет никакого гидроизоляционного слоя, препятствующего доступу грунтовой влажности к туфовой облицовке. При наличии такого слоя (асфальтового) в здании Дома культуры (Армфилармония), построенном в те же годы, что и Университет, туфовая облицовка сохранилась лучше (фиг. 98). Правда здесь имеется базальтовый цоколь, который сам по себе является достаточной гарантией против выветривания туфа. Однако этот цоколь местами почти сходит на нет из-за рельефа участка, и высота цоколя составляет всего 10 см. В этих местах, несмотря на близость туфовой облицовки от поверхности земли, туф сохранился вполне удовлетворительно, не имея каких-либо признаков выветривания. Роль асфальтовой гидроизоляции в защите туфа здесь несомненна.

Приведем один любопытный случай быстрого изменения облицовки из туфа ереванского типа, с появлением в некоторых местах корки выветривания и ее отслаиванием. Это пьедестал Монумента Победы в Ереване. Через два года после его возведения у подножья пьедестала можно было заметить подобную картину (фиг. 99). В этом случае, мы полагаем, отрицательную роль сыграла пропитка облицовки олифой, произведенная сейчас же после окончания строительных работ, осенью, когда в кладке и в облицовке оставалась влажность. Олифовая пленка, нарушая естественную миграцию влаги, создала условия для накопления солей близ внешней поверхности камня, что и привело к образованию корки. Кислинггер, изучавший выветривание облицовки многочисленных зданий в Вене, пришел к заключению, что любой защитный слой создает условия для образования внутренних корок [12]. Это положение подтверждается исследованиями многих ученых [7, 8, 13, 14 и др.].

Для уточнения природы разрушения камня на облицовке Монумента, нами были отобраны пробы из наружной свежей части туфа и из порошка, образовавшейся под туфовой коркой. Результаты химического анализа этих проб приводятся в табл. 20.

Данные о химическом составе показывают, что порошок из-под туфовой корки существенно обогащен CaO и SO_3 , т. е. имеет место образование гипса, с соответствующим расширением объема. Это очевидно и является причиной отпадения корок.

Таблица 20

Химический состав порошка из-под корки выветривания туфа

№ пробы	Место взятия пробы	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	$\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$	SO_3	влага	п. п.
25	Монумент Победы в г. Ереване, порошок из-под туфовой корки										
26	Там же, свежая наружная часть туфа	56,06	0,66	13,59	5,09	1,88	6,23	6,49	5,09	1,57	3,65
		62,94	0,80	16,15	4,27	1,43	2,90	6,54	0,23	0,15	3,84

Излишек CaO в порошке из-под туфовой корки по сравнению с пробой из туфа составляет $6,23 - 2,90 = 3,33\%$; такое количество может связать SO_3 в количестве $3,33 \cdot \frac{80,06}{56,08} = 4,75\%$, что примерно соответствует наличию SO_3 . Для образования двуводного гипса потребовалось бы воды $3,33 \cdot \frac{2 \cdot 18}{56,08} = 2,14\%$, что несколько превышает влагу, содержащуюся в пробе. Это может быть объяснено частичным образованием безводных сульфатов.

Глава III. СООРУЖЕНИЯ ИЗ ТУФОВ БЮРАКАНСКОГО ТИПА

§ 20. ЦЕРКОВЬ В БЮРАКАНЕ

Туфы Бюраканского типа сравнительно мало использованы в строительстве как в древности, так и в новейшее время. Нами обследовано одно древнее сооружение из туфа этого типа, а именно церковь Сурп Ованес в с. Бюракан Аштаракского района. Церковь эта построена католиком Ованесом VI Драсханакертским (историком) в 898—931 гг.

Осмотр сооружения показал, что облицовка стен в нижней и верхней трети по высоте подверглась выветриванию со всех четырех сторон церкви, в средней трети она сохранилась удовлетворительно.

На фиг. 100 представлен фрагмент цвевтрелой облицовки западного фасада, а на фиг. 101—фрагмент сохранившейся облицовки, с высеченной на камне надписью.

Исследована проба из отслаивающейся корки камня. Просмотр под микроскопом двух шлифов, изготовленных из наружной выветрелой части корки и из внутренней свежей части, показал следующее:

Порода в основном представлена пирокластическим материалом, с некоторым содержанием гипергенных веществ (карбонат, кварц). Среди пирокластического материала имеются кристаллы плагиоклаза, моноклинного пироксена, рудных минералов, обломки пород—как основных (андезито-базальт, долерит), так и более кислых, а также вулканического стекла, наличие кото-

рых характеризует структуру породы как кристалло- и витрокластическую. Указанные выше составные части сцементированы вулканическим пеплом бурого и желтого цвета. Для описываемых шлифов и, особенно, для шлифов из наружной части характерно значительное содержание включений; они составляют не менее 40% площади шлифа.

Вулканический пепел, являющийся цементирующим веществом, значительно изменен, что особенно резко проявляется в местах соприкосновения с различными по составу включениями. Большинство включений в шлифе из наружной части окружено оболочкой вторичного происхождения (фиг. 102 и 103). Сами же включения, в том числе полевошпатовые, свежи, водянопрозрачны. Упомянутые вторичные образования заполняют значительную часть пор пемзовидных включений. В последнем случае они как-бы образуют сферолиты, состоящие главным образом из мелко- и тонкозернистого агрегата, с низкими интерференционными цветами первого порядка (возможно гипс).

Химический состав проб из Бюраканской церкви (табл. 21) показывает повышенное содержание SO_3 , особенно в пробе из внутренней части корки, что свидетельствует о наличии сульфатов.

Таблица 21

№ № проб	Место взятия пробы	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	$Na_2O + K_2O$	SO_3	влага	п. п. п.
27 а	Церковь в Бюракане, наружная часть туфовой корки	55,00	0,85	16,33	4,69	2,30	6,72	6,40	0,62	1,49	5,83
27	То же, внутренняя часть	54,52	0,53	16,13	4,89	2,06	6,72	6,48	1,71	1,66	5,48

Физико-механические свойства туфа из церкви в Бюракане

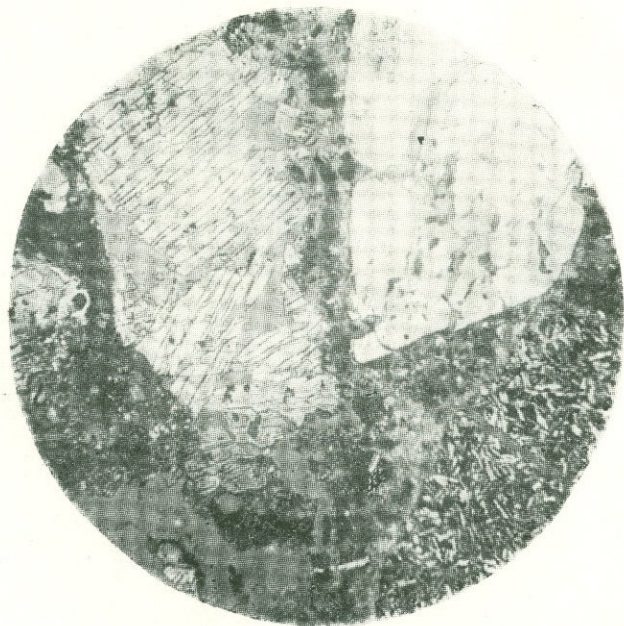
№ № проб и образцов	Место взятия пробы	Об. вес в кг/м ³	Уд. вес. в г/см ³	Пористость в %	Водопогл. по весу в %	Коеф. водо- насыщения	Предел прочности при сжатии в кг/см ²	
							В сухом состоянии	В водонас. состоянии
28-1	Церковь в Бюракане	1830	—	23,1	12,5	0,81	261	—
28-2	„ „	1870	—	26,5	11,5	0,81	198	—
28-3	„ „	1860	—	26,9	11,9	0,82	220	—
28-4	„ „	1910	—	25,0	8,6	0,66	—	208
28-5	„ „	1910	—	25,0	9,2	0,70	—	198
28-6	„ „	1880	—	26,1	10,0	0,72	—	193
28-7	„ „	1890	—	25,8	10,0	0,73	—	192
	В среднем по пробе № 28	1878	2,55	26,2	10,5	0,75	226	198
29	Карьер у Бюракана	1900	2,57	26,1	10,8	0,79	301	206
30	Окраина Бюракана	1900	2,50	28,0	12,8	0,82	208	175



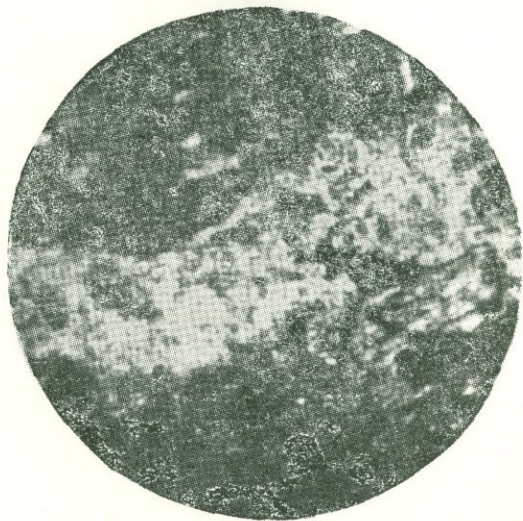
Фиг. 100. Церковь в Бюракане, 898—931 гг. Нижняя часть облицовки.



Фиг. 101. Церковь в Бюракане, 898—931 гг. Облицовка на высоте 5—6 м от уровня земли.



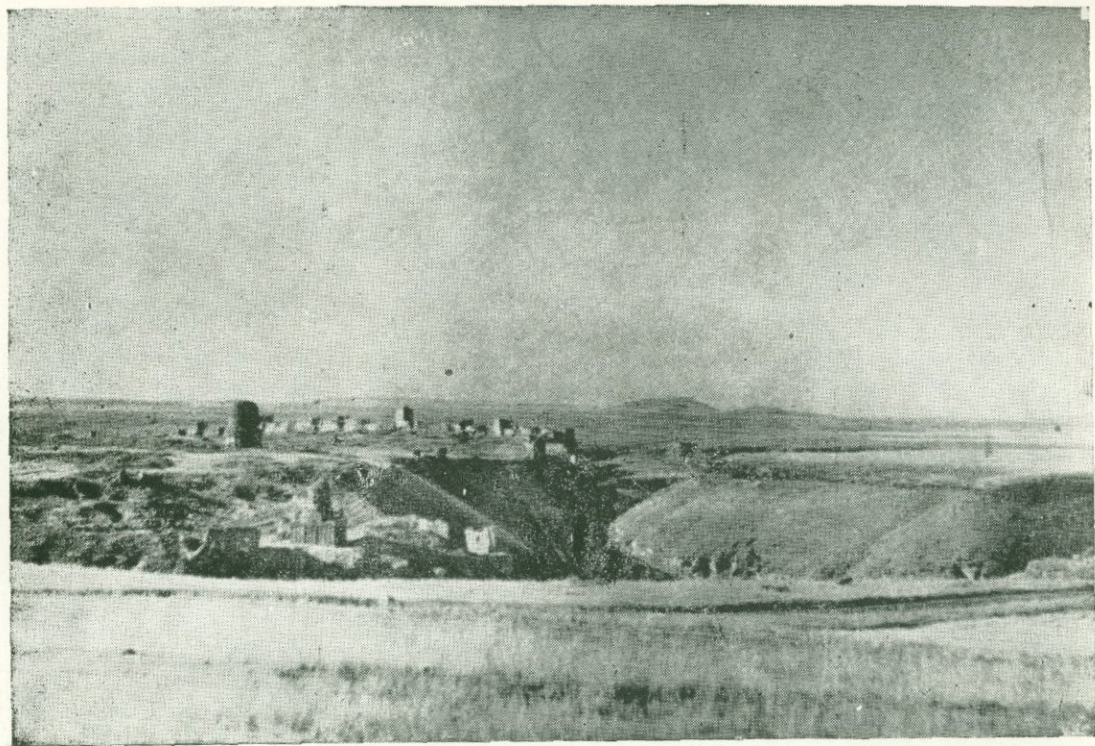
Фиг. 102. Церковь в Бюракане. Микрофотография шлифа из наружной части корки выветривания. Увелич. 100X. Ник.—. Туфовая масса у контакта с включениями пропитана карбонат-гипсовым веществом.



Фиг. 103. Церковь в Бюракане. Микрофотография шлифа из наружной части корки выветривания. Увелич. 200X. Ник.+-. Туфовая масса у контакта с обломком породы пропитана карбонат-гипсовым веществом (белая полоса).

Нами выполнены также определения физико-механических свойств одной пробы туфа из Бюраканской церкви и двух проб свежего камня из Бюраканского карьера и окраины с. Бюракан. Результаты этих определений приведены в табл. 22.

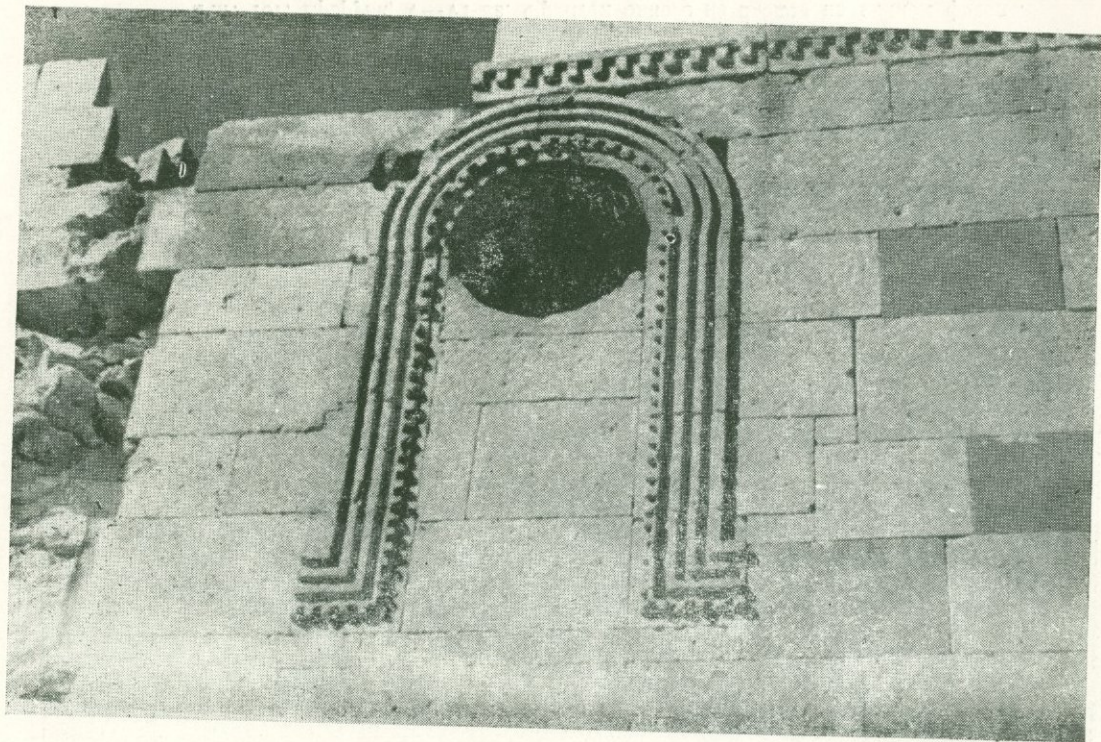
Как видно из этих данных, камень, прослуживший свыше 1000 лет в сооружении, по своей прочности и водостойкости почти не уступает свежему камню при одинаковом объемном весе. Это означает, что выветривание туфа Бюраканского типа захватывает лишь поверхностные слои облицовочного камня и не оказывает существенного влияния на прочности камня в целом.



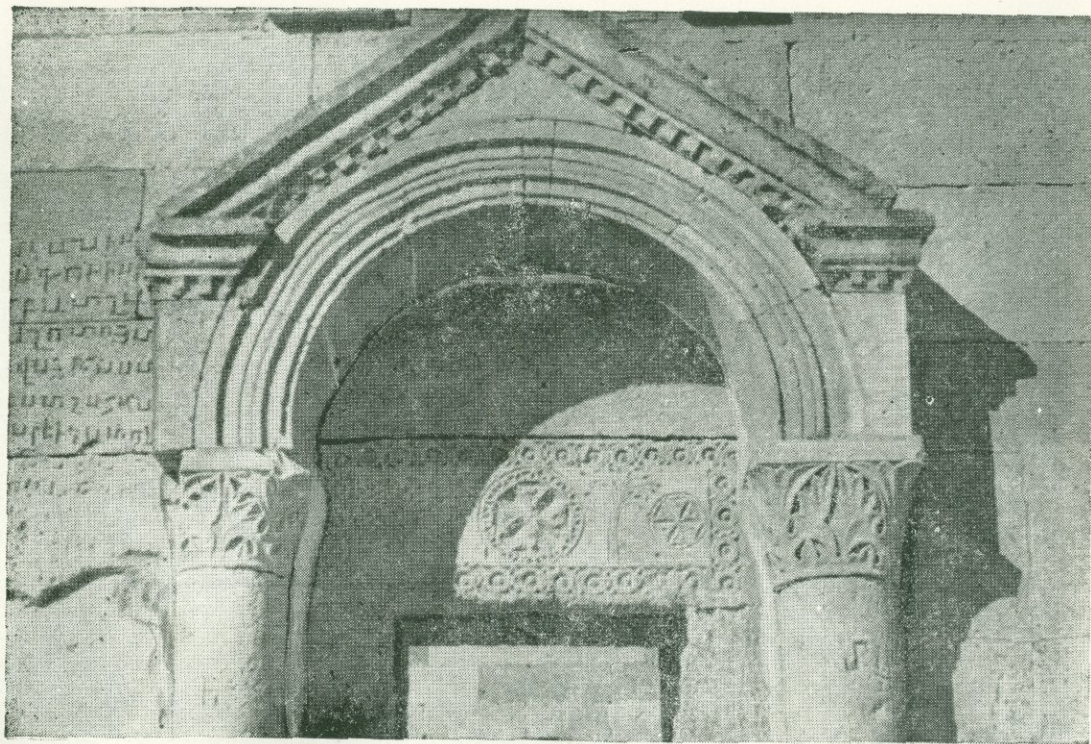
Фиг. 104. Развалины древнего города Ани, по ту сторону границы.



Фиг. 105. Общий вид Егеруйкской базилики с юго-запада, V—VI вв.



Фиг. 106. Еревуик, V—VI вв. Фрагмент верхней части южного фасада.



Фиг. 107. Ереруйк, V—VI вв. Фронтон одного из входов на южном фасаде.

рая, несомненно, относится к эпохе возведения базилики.

Признаки выветривания анийского туфа можно наблюдать на южном и западном фасадах. Здесь в нижнем ряду имеются камни с рябой поверхностью (фиг. 109). Как показало изучение, выступающие части рельефа такого выветрелого камня представляют собой не что иное, как пемзовые включения (фиг. 110). Следовательно в этих камнях наиболее слабой частью оказался пепловый материал (фиг. 111), который со временем вымывался с поверхности. Поскольку подобная картина наблюдается не часто, то естественно полагать, что поверхностному выветриванию подверглись камни с вулканическим пеплом сравнительно рыхлой структуры. Коркообразование туфа нигде не замечено. Микроскопическое изучение выступающих пемзовых включений показывает, что они пропитаны мелкочешуйчатым продуктом, напоминающим карбонатное вещество (может быть гипс?).

На северном и восточном фасадах сохранность анийского туфа лучше. Часть поверхности камня на северном фасаде покрыта мхом.

Нами произведены определения физико-механических свойств одной пробы камня, взятой из Ереруйка. Результаты испытаний этой пробы, в сопоставлении со средними показателями свежего туфа из Анипемзенского месторождения, приводятся в табл. 23.

Приведенные данные показывают, что после 1500-летней службы туф анийского типа не потерял своей прочности и водостойкости, при сопоставлении его со свежим туфом того же объемного веса. Можно лишь отметить некоторое увеличение водопоглощения (коэффициента водонасыщения) и снижение морозостойкости. Тем не менее камень из древнего сооружения выдерживает 25-кратное замораживание и может служить еще долго.

Физико-механические свойства туфа из Ереруйкской базилики

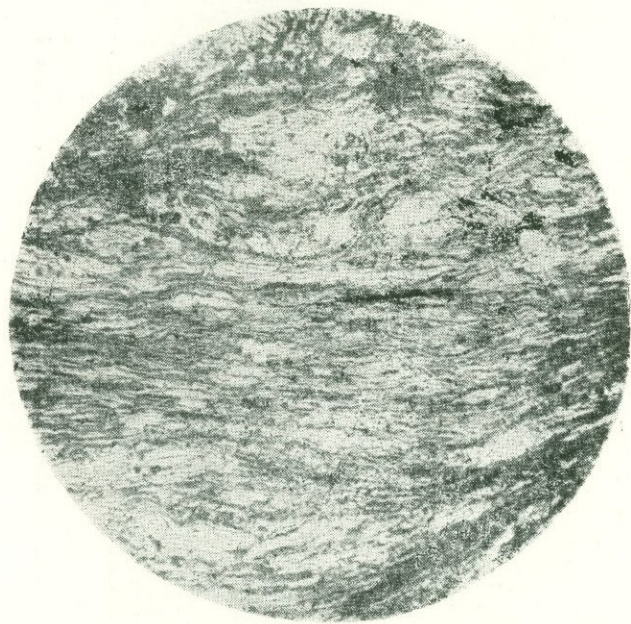
№ № проб и образцов	Место взятия пробы	Об. вес в кг, м³	Уд. вес в г/см³	Пористость в %	Водопогл. по весу в %	Коеф. водонасыщ.	Предел прочности при сжатии в кг/см²		
							В сухом сост.	В водо- насыщ. сост.	После 25 цикл. за- моражив.
31—1	Ереруйк	1275	—	45,2	28,5	0,80	128	—	—
31—2	"	1200	—	48,3	27,0	0,67	120	—	—
31—3	"	1100	—	48,3	28,5	0,71	123	—	—
31—4	"	1200	—	47,5	28,0	0,72	—	93	—
31—5	"	1215	—	47,8	28,0	0,74	—	131	—
31—6	"	—	—	—	—	—	—	—	89
31—7	"	—	—	—	—	—	—	—	79
31—8	"	—	—	—	—	—	—	—	52
В среднем по пробе № 31		1220	2,33	47,5	28,0	0,72	124	112	73
32	Анипемзенское месторождение	1177	2,37	50,3	25,2	0,59	113	100	107
33	"	1232	2,28	45,9	24,3	0,65	118	119	97
34	"	1250	2,32	46,1	24,1	0,65	129	103	115



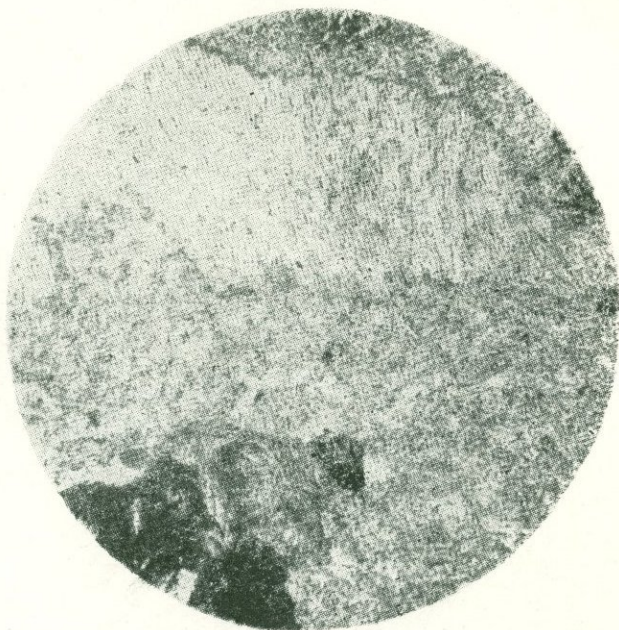
Фиг. 108. Ереруйк, V—VI вв. Древне-греческая надпись на южном фасаде.



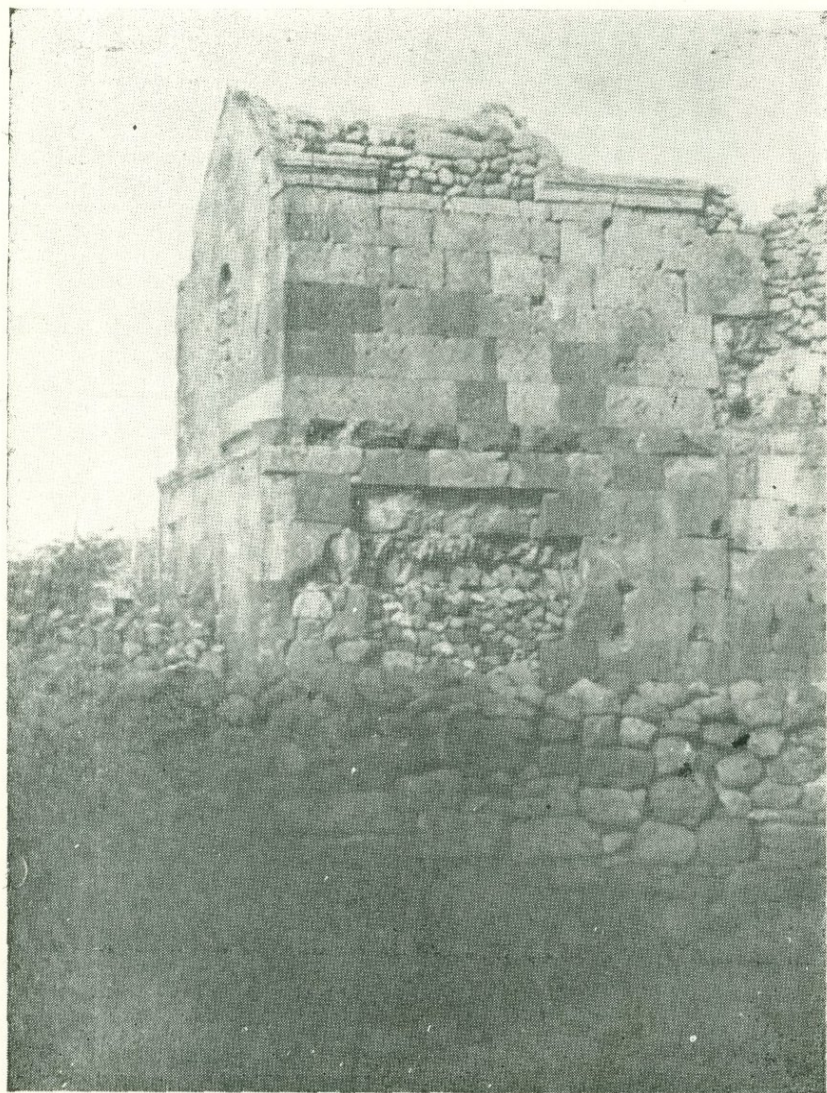
Фиг. 109. Ереуик, V—VI вв. Выветрелый камень на западном фасаде (нижние ряды).



Фиг. 110. Ереруйк. Микрофотография шлифа из выступающих кусков выветрелого туфа. Увелич. 100X, ник. — Явно-пемзовая структура.



Фиг. 111. Ереруйк. Микрофотография шлифа из внутренней части туфа. Увелич. 100X, ник. — Видны участки пемзовой и пепловой структур, а также включения (черный цвет).



Фиг. 112. Церковь Аствацацин в г. Артик, VI в. Вид с
юго-запада.

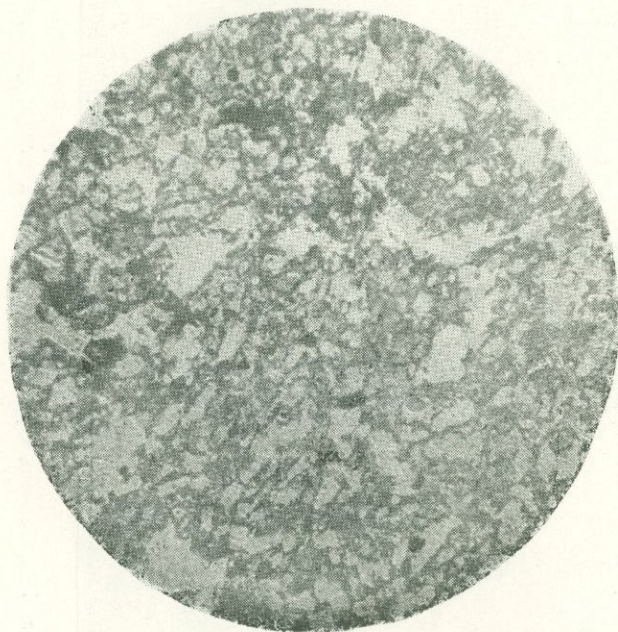
Глава V. СООРУЖЕНИЯ ИЗ ТУФОВ АРТИКСКОГО ТИПА

Хотя туфы арктического типа стали широко известными и применяются в строительстве многих городов лишь за последние десятилетия, они применялись в Армении, в районе месторождений этого туфа, еще в глубокой древности. Нами обследованы 4 древних сооружения в г. Артике и в с. Нор Кянк, а также комплекс Аричского монастыря. Кроме того осмотрены современные постройки из арктического туфа.

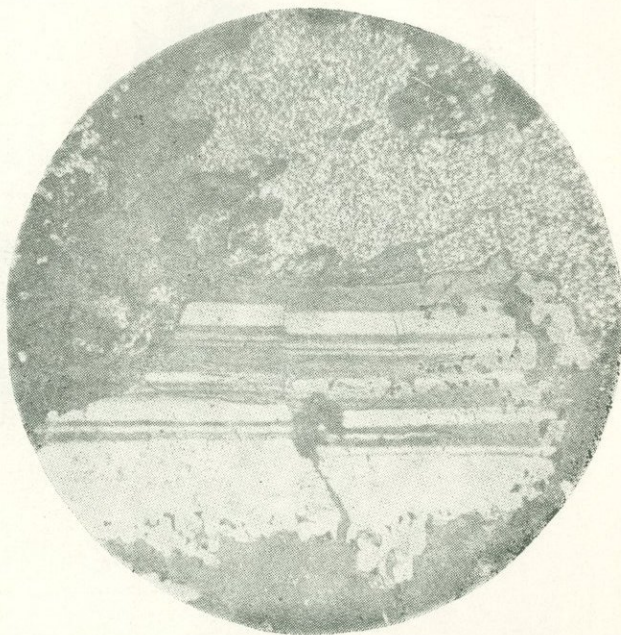
§ 22. СООРУЖЕНИЯ В Г. АРТИК И В С. НОР КЯНК

Церковь Аствацацин, построена в VI в. В настоящее время полуразрушена, стоит без кровли (фиг. 112). Нижний ряд камня (арктического туфа), примыкающий к земле, подвергся выветриванию с коркообразованием. Остальная часть облицовки, в т. ч. и карниз, сохранилась удовлетворительно. С внутренней стороны стены частично покрыты мхом. Микроскопическое изучение корки выветривания показывает наличие в порах туфа мелкочешуйчатого агрегата (гипса?) (фиг. 113 и 114).

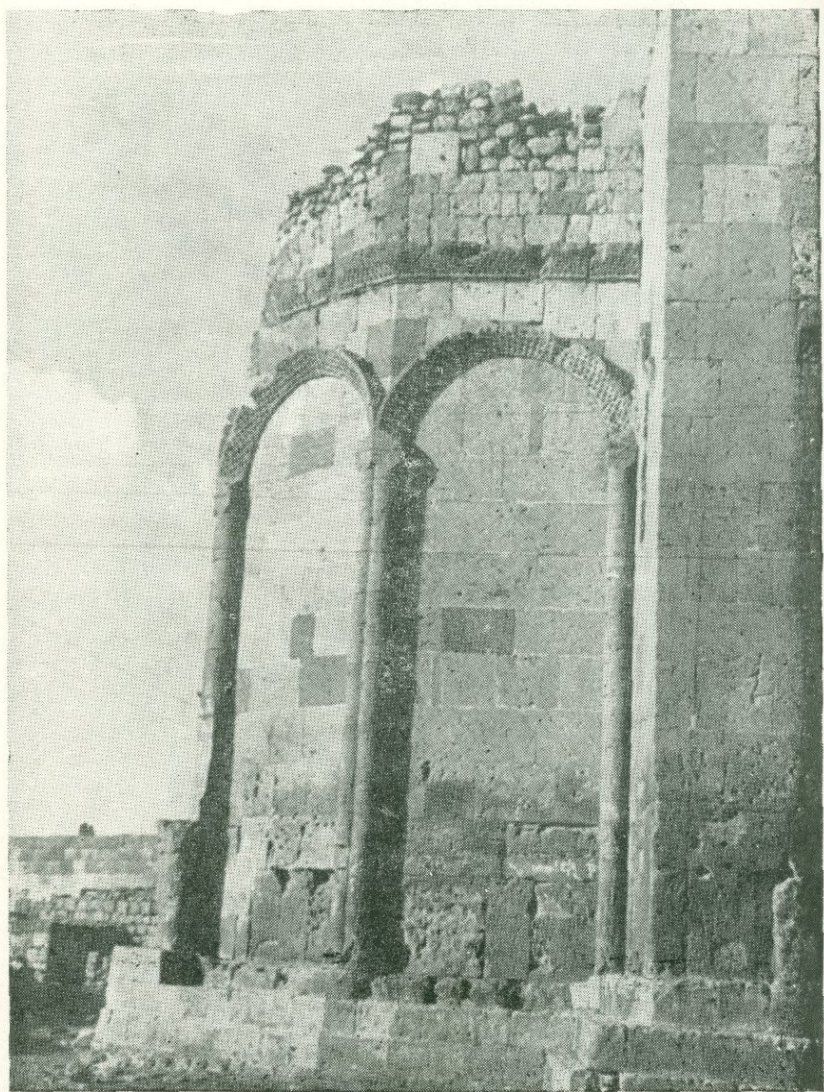
Церковь Сурп Георг, построена в VII в. В настоящее время частично разрушена, но имеет кровлю. Нижние два ряда кладки из арктического туфа, высотой соответственно 1,0 м и 0.66 м, подверглись сильному выветриванию (фиг. 115). Такая картина наблюдается со всех сторон сооружения. Вышележащая облицовка



Фиг. 113. Церковь Аствацацин в Артике. Микрофотография шлифа из внутренней части корки выветривания. Увелич. 100X, ник—. Значительная часть пор заполнена гипсоподобным веществом (сероватый цвет).



Фиг. 114. Церковь Аствацацин в Артике. Микрофотография шлифа из наружной части корки выветривания. Увелич. 100X, ник+. Туфовая масса испещрена чешуйками гипсоподобного вещества. Кристаллы полевого шпата совершенно свежие.



Фиг. 115. Церковь Сурп Георг, VII в. Вид юга.

Таблица 24

Химический состав разрыхленного туфа из Лмбатаванка

№ № проб	Место взятия пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O + K ₂ O	SO ₃	п.п.п.
35	Лмбатаванк	56,58	1,12	13,30	4,32	1,12	6,96	4,73	5,65	6,53
—	Арктиское месторождение (в среднем)	64,62	0,69	16,92	3,74	1,05	2,95	9,04	—	1,22

Обращает на себя внимание также существенное уменьшение содержания щелочей в выветрелом туфе. Можно предположить, что причиной уменьшения щелочей является выпадение зерен полевых шпатов при разрыхлении туфа.

Лабораторное изучение небольших образцов, взятых из облицовки Лмбатаванка, показало, что объемный вес туфа составляет в среднем 1420 кг/м³ и водопоглощение по весу 24,4%, т. е. туф имеет обычные для данного типа характеристики.

Церковь Григор Лусаворич в с. Нор Кянк (бывш. Мачтли) Арктиского района, построена из арктиского туфа в VII в. Облицовка в нижних рядах имеет признаки выветривания, в верхней части сохранность удовлетворительная.

Современные сооружения в г. Артик

Город Артик, возникший от одноименного селения, находящегося в непосредственной близости от широко известного Арктиского месторождения туфа, целиком построен из этого туфа. Здесь арктиский туф использован не только для возведения стен, но и для цоколя. Осмотр ряда зданий показал, что арктиский туф в цоколях современных зданий ведет себя по разному.

Приведем два примера:

1) Жилой дом Г. Диланяна, построен в 1899 г. Как стены, так и цоколь, карниз и парапет сложены из сравнительно плотного арктического туфа. Облицовка не имеет никаких следов выветривания.

— 2) Жилой дом А. Бичахчяна, построен в 1883 г. Из арктического туфа сложены цоколь, стены, карниз. В цоколе наблюдается явное выветривание арктического туфа, с отслаиванием поверхности, в карнизе же следов выветривания почти нет.

§ 23. АРИЧСКИЙ МОНАСТЫРЬ

Аричский монастырь находится в с. Арич (бывш. Кипчаг) Арктического района. Сооружения монастыря построены из арктического туфа в VII и XIII вв.

Наиболее древняя часть монастыря—церковь Сурп Григор—относится к VII веку и находится в полуразрушенном состоянии (фиг. 118). Часть камней этой церкви и, особенно, колонна на переднем плане из цельного камня имеют кавернозный вид, который получился, по-видимому, от вымывания со временем рыхлых шлаковых включений.

Главная церковь монастыря, построенная спасаларом Захаре в 1201 г. и притвор, построенный несколько позже, имеют хороший вид (фиг. 119, 120 и 122). Туфовая облицовка здесь сохранила свою гладкую фактуру почти всюду. Особенно хорошо сохранились камни в верхних частях—в куполе, во фронтонах, в выступающих архитектурных деталях, в гладкой облицовке стен. На северном и западном фасадах нетронутым остался и цоколь. Признаки выветривания наблюдаются лишь на восточном и южном фасадах—на туфовой облицовке цоколя и нижнего ряда кладки стен (фиг. 121). Здесь налицо отслаивание камня, в некоторых местах и каверны. Любопытно отметить, что в нижних двух

рядах ступенчатого цоколя арктический туф сохранен лучше, чем в вышележащих. Здесь могут быть два объяснения: или для нижних рядов были специально подобраны плотные камни, или же эти ряды были смелены позже. Испытание отобранных образцов показывает, что здесь применены плотные разновидности туфа, с объемным весом 1740 кг/м^3 и водопоглощением по весу 12,6%.

Прекрасная сохранность арктического туфа в облицовке стен Аричского монастыря, что хорошо видно, например, на фотоснимке фиг. 122, свидетельствует о высокой долговечности арктического туфа при его правильном применении.

Микроскопическое изучение образца туфа из облицовки цоколя восточного фасада показывает, что порода имеет типичные для туфов арктического типа состав и структуру. Часть крупных пор основной массы вулканического стекла, а также включений черного стекла, заполнена изотропным веществом радиально-лучистого строения, с низким показателем преломления ($n < 1,54$), по всей вероятности принадлежащим к группе цеолитов. При больших увеличениях ($340\times$) и сильном освещении, в отдельных порах (большей частью черного вулканического стекла) наблюдаются оболочки зеленоватого карбонат-хлоритового вещества. Аналогичные вторичные образования имеют ничтожное развитие и в основной массе породы.

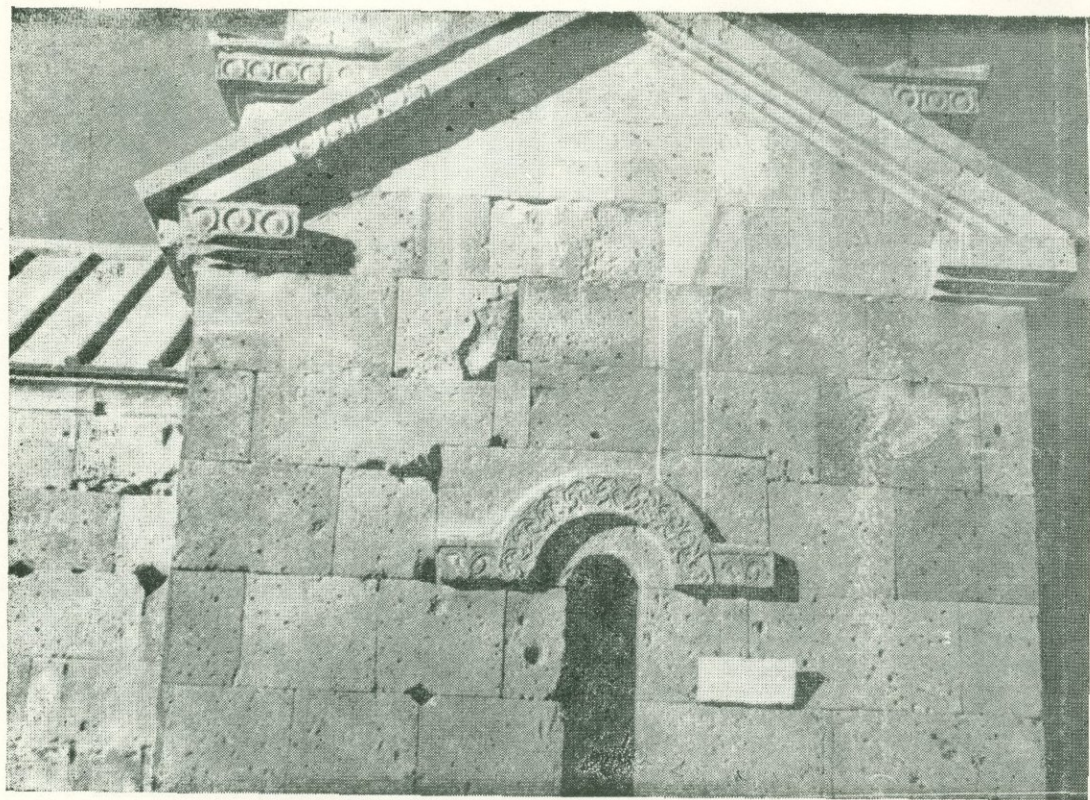
Глава VI. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЙ И ВЫВОДЫ [5]

§ 24. ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ФЕЛЬЗИТОВЫХ ТУФОВ

Как видно из предыдущего изложения, нами было осмотрено и обследовано значительное количество древних и современных сооружений, возведенных или облицованных так называемыми фельзитовыми туфами Армянской ССР. Сооружения эти находятся в северных районах Армении, а также в г. Ереване и в г. Тбилиси.

Обследование показало, что в большинстве случаев фельзитовые туфы недостаточно погодоустойчивы и подвергаются выветриванию в облицовке сооружений в той или другой степени. Выветривание имеет поверхностный характер и приводит к порче внешнего вида сооружений, но, даже в наиболее древних сооружениях, не отражается существенно на их прочности и устойчивости.

В первую очередь выветриванию подвергаются части зданий, наиболее доступные длительному увлажнению—цоколи, карнизы, различные выступающие архитектурные детали, а также части стен, примыкающие к местам скопления атмосферной влаги (например, первый ряд облицовки стен над обрезом цоколя, ряд облицовки над выступающим поясом, кладка парапета над карнизом и пр.).



Фиг. 116. Либатаванк, VII в. Фрагмент южного фасада.



Фиг. 117. Лмбатаванк, VII в. Общий вид с запада.

Выветривание фельзитовых туфов выражается в крошении камня с поверхности, образовании неровностей и раковин, отслаивании камня чешуйками, коркообразовании, с накоплением пылеватого материала под коркой и последующим отпадением корок. Иногда наблюдается появление трещин в облицовочных камнях и отпадение лещадок. Во многих случаях выветривание камня сопровождается образованием солевых выцветов на их поверхности.

Первые признаки выветривания фельзитовых туфов появляются за сравнительно короткий срок их службы. Эти признаки уже заметны на зданиях в г. Ереване, построенных за последние 20—30 лет и даже на более свежих.

Старые и древние сооружения из фельзитовых туфов носят сильный отпечаток выветривания, достигающий до полного обезображения их архитектурного облика. Особенно большие разрушения наблюдаются на южных фасадах сооружений, что следует приписать влиянию солнечного нагревания. При этом, очевидно, происходит более интенсивный процесс попеременного высушивания и водонасыщения камня, приводящее к снижению его прочности.

Степень выветривания фельзитовых туфов в облицовке не одинакова и зависит как от условий их службы, так и от разновидности туфа. В старину фельзитовый туф для облицовки специально подбирался, вследствие чего встречаются старые сооружения, в которых фельзитовый туф из одного и того же месторождения сохранился лучше, чем в новых сооружениях (например, в Ноемберяне). Известно также, что для надгробных камней местные каменотесы берут камень по традиции с определенного участка, считая его наиболее стойким. И, действительно, осмотр кладбищ показывает, что надгробные камни из фельзитовых туфов, как правило, сохраняются хорошо.

Хорошее состояние фельзитового туфа констатируется также в каменной черепице древнего сооружения и даже в каменной мельничной трубе. Следует, однако, оговорить, что причиной сохранности фельзитового туфа в надгробных камнях, черепице и мельничной трубе может являться, помимо специального подбора туфа, также и постоянный сток воды по поверхности камня, который уносит накапливающиеся в поверхностной части камня растворимые соли и, тем самым, устраняет возможность солевого выветривания туфа.

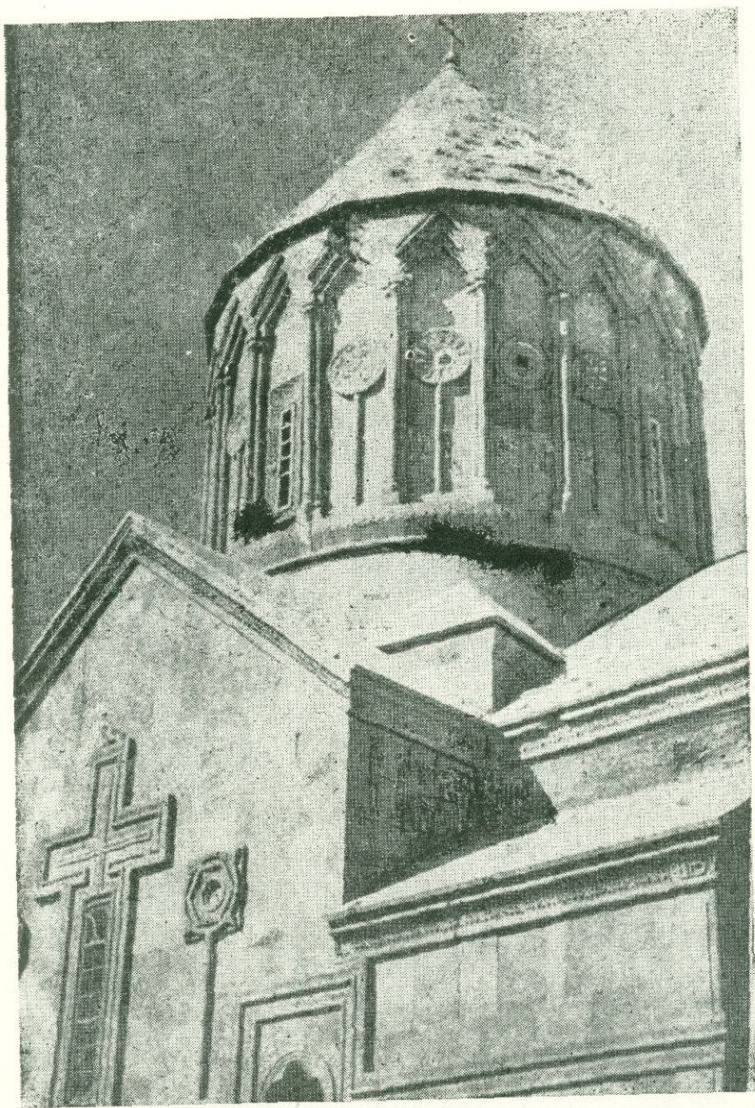
Для выявления механизма выветривания фельзитовых туфов были отобраны пробы из облицовки пяти сооружений, которые подверглись специальному изучению. Производилось микроскопическое изучение прозрачных шлифов, изготовленных как из наружной поверхностной части проб, так и из внутренней. Определялся химический состав туфа в наружной и внутренней частях камня. Пробы подверглись также физико-механическим испытаниям, с определением удельного и объемного весов, пористости, водопоглощения, предела прочности при сжатии в сухом и водонасыщенном состоянии, а также после 50 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Результаты всех этих испытаний и определений приведены выше, при описании обследованных сооружений.

Микроскопическое изучение шлифов показало отсутствие особых петрографических изменений в фельзитовых туфах. Сравнением шлифов из наружной и внутренней частей облицовочного камня установлено несколько большее окисление рудных минералов, образование гидроокислов железа и увеличение содержания карбонатов в наружном слое.

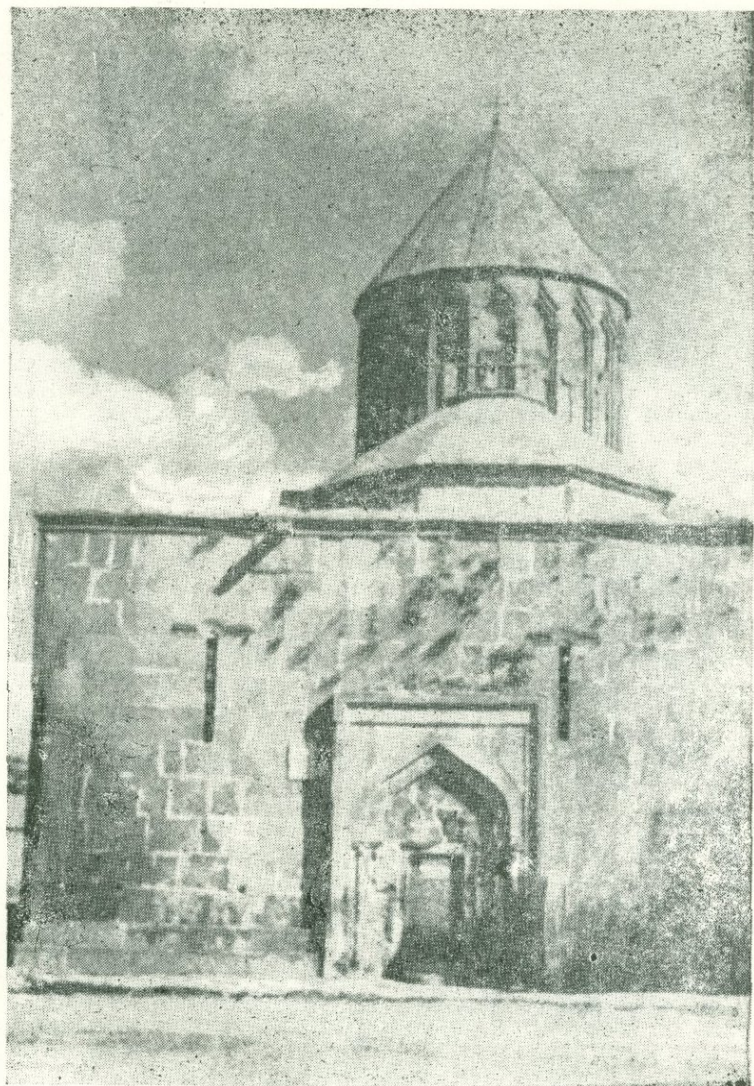
Сопоставление результатов химического анализа проб из наружной и внутренней частей камня показывает, что заметное изменение имеется лишь в содержании CaO , SO_3 и в потерях при прокаливании (п.п.п.).



Фиг. 118. Аричский монастырь, церковь Сурп Григор, VII в.



Фиг. 119. Аричский монастырь, 1201 г. Вид с востока.



Фиг. 120. Аричский монастырь, 1201 г. Вид с запада.



Фиг. 121. Аричский монастырь, 1201 г. Фрагмент ступенчатого покая и первого ряда облицовки стен восточного фасада.

Для наглядности ниже приводим таблицу 25, в которой дается сопоставление содержания этих компонентов.

Таблица 25

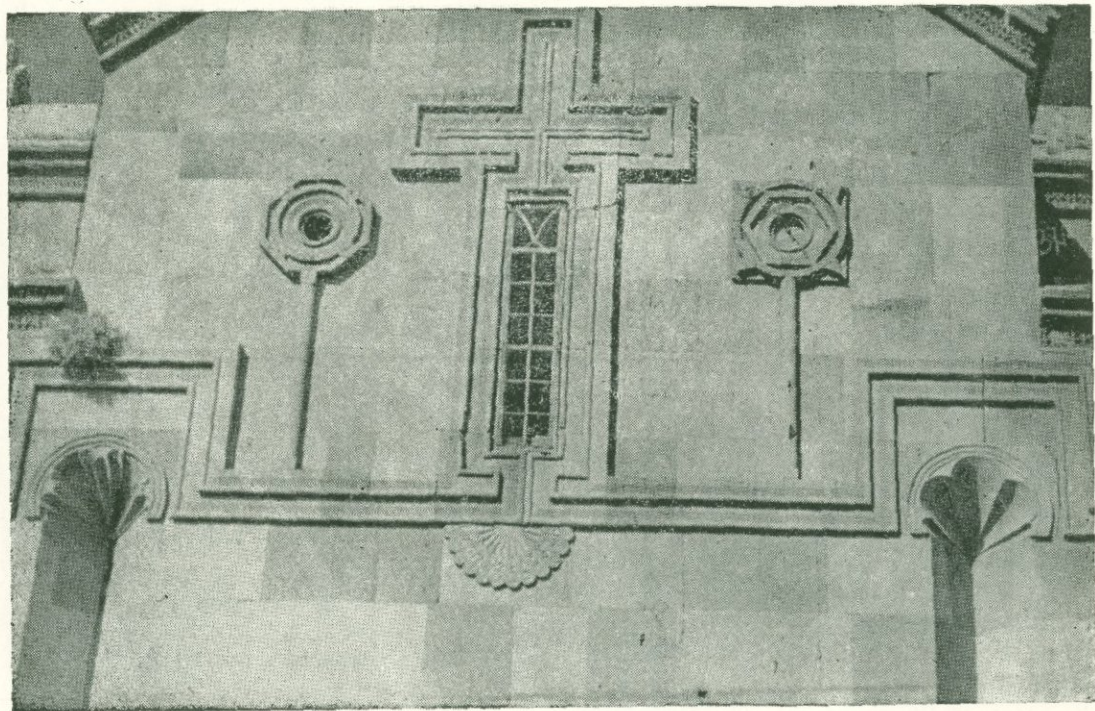
Изменение химического состава фельзитовых туфов
в облицовке сооружений

№ п/п	Сооружение	Дата постройки	СаО		SO ₃		п.п.п.	
			внутри камня	в на- ружн. части	внутри камня	в на- ружн. части	внутри камня	в на- ружн. части
1	Одзунский храм	VI—VII вв.	0,58	0,57	0,24	следы	1,78	2,77
2	Монастырь Оромайр	1206 г.	0,65	2,73	0,27	1,30	2,94	5,20
3	Монастырь Мшкаванк	XI—XIII вв.	2,69	5,81	следы	0,07	4,34	7,36
4	Церковь Сурп Саркис в Ноемберяне	1848 г.	5,48	7,07	0,10	0,52	9,53	11,63
5	Здание райкома в Ноемберяне	1916 г.	2,07	6,15	0,02	следы	7,67	9,78
В среднем			2,29	4,48	0,13	0,38	5,25	7,35

Анализ химических и петрографических изменений фельзитовых туфов в облицовке сооружений показывает, что эти изменения, выражающиеся в карбонатизации, сульфатизации, лимонитизации и др., по своей интенсивности одного и того же порядка в сооружениях различного возраста (от 40 до 1400 лет), подвергшихся сильному выветриванию или сохранных. Поэтому химические изменения в фельзитовых туфах

Физико-механические свойства фельзитовых туфов из различных сооружений

№ п.п.	Наименование сооружения	Дата постройки	Физико-механические свойства проб фельзитового туфа, отобранных из облицовки сооружений									
			Об. вес в кг/м^3	Уд. вес в г/см^3	Пористость в %	Вологл. по весу в %	Коэфф. водонасыщ.	Предел прочности при сжатии в кг/см^2			Коэфф. размягчения	Коэфф. морозостойкости
								в сухом сост.	в водонас. сост.	после 5 циклов замор.		
1	Одзунский храм	VI—VII вв.	1870	2,62	28,6	11,9	0,78	359	194	165	0,54	0,85
2	Монастырь Оромайр	1206 г.	1960	2,56	23,4	10,7	0,89	490	320	246	0,65	0,75
2	Монастырь Мшкаванк	XI—XIII вв.	2000	2,52	20,6	9,0	0,87	670	361	494	0,54	> 1
4	Церковь Сурп Саркис в Ноемберяне	1848 г.	2150	2,59	17,2	6,8	0,85	678	342	376	0,50	> 1
5	Здание райкома в Ноемберяне	1916 г.	2130	2,56	16,8	6,7	0,85	607	342	368	0,56	> 1



Фиг 1.22. Аричский монастырь, 1201 г. Фрагмент восточного фасада.

нельзя считать основным фактором выветривания камня.

Приводим сводную таблицу физико-механических свойств проб фельзитовых туфов, отобранных из некоторых обследованных сооружений (табл. 26).

Как видно из данных табл. 26, все пробы фельзитовых туфов выдержали испытание морозостойкости на 50 циклов замораживания. Это значит, что достаточная морозостойкость фельзитовых туфов нельзя признать за гарантию их долговечности. Прочность камней в сухом состоянии высокая: предел прочности проб при сжатии колеблется в пределах 359—670 кг/см². Однако коэффициент размягчения камней во всех случаях пониженный—в древнейших сооружениях (Одзунский храм и Мшаванк) он снижается до 0,54, а максимальное его значение не превышает 0,65. В этом нужно искать основной недостаток фельзитовых туфов, примененных в старых и древних сооружениях Армении, приведший к выветриванию камня в облицовке. Коэффициент водонасыщения испытанных проб фельзитовых туфов высок и колеблется в пределах 0,78—0,89. Высокая степень водонасыщения усугубляет вредное воздействие воды на камень в процессе его попеременного водонасыщения и высушивания.

§ 25 ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЯ СООРУЖЕНИЙ ИЗ ЧЕТВЕРТИЧНЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ТУФОВ

Четвертичные вулканические туфы, а именно туфы ереванского, арктикского, анийского и бюраканского типов являются основным стеновым материалом как в современных, так и в древних сооружениях Армении.

Многочисленные памятники архитектуры Армении, уцелевшие до настоящего времени, возведены именно из этих туфов. При этом из туфов выложены не только

стены, но и цоколи большинства древних сооружений, а также крыши (каменная черепица).

Хорошая сохранность четвертичных туфов в облицовке стен засвидетельствована нами во всех обследованных сооружениях, расположенных в различных районах Армении, в том числе в районах с суровым климатом, где температура зимою доходит до $25-30^{\circ}\text{C}$ и даже 35°C ниже нуля (Ленинакан, Артик, Ани).

Прекрасно сохранился туф ереванского типа в облицовке стен Могнийского монастыря в течение 290 лет, притвора Эчмиадзинского собора с весьма ажурной резьбой по камню—300 лет, церкви Йотверк в Ленинакане —300 лет, церкви Аствацацин в Егварде, с горельефами — 635 лет, церкви Ованнаванк — 700 лет, церкви в Айкалзоре (Кошаванк) — 970 лет, Мармашена —970 лет, церкви в с. Маисян — 1200 лет, кафедрального собора в Аване — 1350 лет, Касахской базилики — 1500 лет и др.*

В первоначальной части Эчмиадзинского кафедрального собора, насчитывающего свыше 1650 лет, имеются лишь первые признаки выветривания туфовой облицовки стен.

Иначе ведут себя четвертичные туфы в цоколе и, в некоторых случаях, в одном или в двух нижних рядах облицовки стен, при отсутствии гидроизоляции. Обследование сооружений из туфов ереванского типа показывает, что первые признаки выветривания отдельных камней цоколя, в зависимости от плотности туфа, климатических условий и других факторов, появляются через 300 лет (церковь Рипсимэ после реконструкции,

* Известно, что ереванский туф был применен и в гораздо более древнем сооружении — урартской крепости Тейшебаини, где он хорошо сохранился в бутовой кладке стен, наряду с базальтом [10]. Однако это сооружение нами не рассмотрено, учитывая, что оно было погребено под землей в течение многих веков, что создало благоприятные условия для сохранности камня.

церковь Йотверк в Ленинакане), через 100 лет (церковь Аменапркич в Ленинакане, жилой дом по ул. Спандарян в Ереване) и даже через 45 лет (Гос. университет в Ереване) и др.

Сильное выветривание цоколя из туфов ереванского типа наблюдается в древних сооружениях, имеющих возраст 1500 лет (Касахская базилика), 1350 лет (Аванский кафедральный собор), 1200 лет (церковь в с. Майсян), 970 лет (Мармашен).

Умеренная степень выветривания наблюдается в сооружениях промежуточного возраста (от 300 до 1000 лет).

Выветривание туфов ереванского типа заключается в отслаивании от поверхности камня лещадок, представляющих собой каменную корку, под которой скапливается порошкообразный материал, состоящий из растворимых солей и туфовой пыли. В редких случаях наблюдается и разрыхление туфового камня в целом.

Петрографическое изучение корок выветривания показывает, что основные компоненты туфа ереванского типа—вулканическое стекло, включения минералов и пород—совершенно свежи и не подверглись каким-либо изменениям. Однако поры в туфовой массе в значительной степени пропитаны вторичными образованиями, которые под микроскопом представляют собой мелкозернистый и мелкочешуйчатый агрегат, действующий на поляризованный свет. Ввиду чрезвычайно малого размера зерен (менее 20 μ), их бесформенности и загрязненности, не удается петрографически определить их минералогический состав. Можно лишь предположительно охарактеризовать их как карбонатное и гипсоподобное вещество. Наличие карбонатов в некоторых случаях подтверждается пробой соляной кислотой, а в других — нет (совершенно не реагируют). Изучение этих новообразований имерсионным методом не дало возможности внести большую ясность, поскольку зна-

Химический состав продуктов выветривания туфов ереванс

№ пп	Наименование сооружения	Дата постройки	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃
1	Церковь с. Маисян	VII в.	57,05	0,85	14,07
2	Мармашен	X в.	39,47	0,75	7,80
3	Ованнаванк	1217 г.	45,13	0,71	11,42
4	Монумент Победы в Ереване	1950 г.	56,06	0,66	13,59
5	Туф ереванского типа (средний состав)	—	63,09	0,64	16,47

чения показателей светопреломления зерен получаются не характерными для определенного минерала.

С точки зрения уточнения состава новообразований в порых туфов ереванского типа, решающее значение имели результаты химических анализов.

В табл. 27 дается сводка анализов четырех проб порошков из-под корки выветривания, взятых из различных сооружений. Эти анализы показывают значительное содержание в порошках SO₃, достигающее до 15,31% (Мармашен). Одновременное повышение содержания СаО и п. п. п. указывает в явном виде на наличие в порошке гипса. Содержание гипса (двуводного) доходит до 33%. Расчеты химического состава подтверждают также наличие в порошках некоторого количества карбоната кальция.

Таким образом, наблюдаемый под микроскопом мелкозернистый и мелкозернистый агрегат, в действительности, представляет собой смесь гипса и карбоната кальция, с преобладанием первого. Не исключена возможность содержания в незначительных количествах и других сульфатов и карбонатов.

Скопление указанных растворимых солей у поверхности туфовой облицовки цоколя объясняется капил-

кого типа (порошков из-под корки выветривания)

Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O + K_2O	SO_3	п. п. п.	Влага (H_2O -)
4,08	1,26	6,13	2,15	4,52	4,85	2,12
3,49	1,26	16,85	4,72	15,31	10,60	8,65
4,69	1,95	11,06	6,24	11,44	0,36	4,50
5,09	1,88	6,23	6,49	5,09	3,65	1,57
4,54	1,44	3,49	6,60	0,61	2,39	—

лярным подсосом грунтовых вод и высыханием камня у поверхности*. При этом возможно, что часть гипса образовалась из карбоната кальция под воздействием атмосферного SO_3 . Расширение объема гипса и др. солей при кристаллизации является одной из причин механического разрушения камня, с отслаиванием корки и разрыхлением подкорковой части.

Рассмотрение под микроскопом шлифов из разрушенной части туфа показало, что новообразования большей частью опоясывают включения минералов и инородных пород, имеющих в туфе. Из этого можно заключить, что контакты включений с туфовой массой менее плотны, чем основная масса. Следовательно, чем больше включений, тем больше отрицательное воздействие кристаллизации растворимых солей (солевое выветривание).

В отношении влияния ориентировки облицовки к странам света, наблюдения показывают, что наибольшая

*По гидрогеологическим данным, воды родников, имеющих вблизи некоторых из обследованных нами древних сооружений, в своем химическом составе содержат: Ca'' —30,5÷121,3 мг/л, Mg'' —7,4÷65,0 мг/л, SO_4'' —до 37,3 мг/л, HCO_3^- —34,0÷433,1 мг/л, $\text{Na}' + \text{K}'$ —10,9÷102,6 мг/л.

степень выветривания туфов в цоколях имеет место на южных фасадах сооружений. Меньше всего страдает северная сторона облицовки, хотя на этой стороне древних сооружений цоколи местами покрыты мхом и лишайником.*

Здесь, очевидно, играет роль интенсивность солнечного нагрева облицовки, которая форсирует процессы капиллярного подсоса грунтовых вод в туфовую облицовку и скопления растворимых солей под поверхностью. Независимо от солевого выветривания, интенсивное протекание явления попеременного высыхания и водонасыщения, как нами указано выше, само по себе способствует разрыхлению структуры камня, что приводит к снижению его прочности и, в пределе, к разрушению.

При обследовании сооружений из туфов ереванского типа было замечено, что выветривание туфа в цоколях далеко не равномерно. Рядом с явно выветрелым камнем часто можно видеть камень без каких-либо признаков выветривания, совершенно свежий. Визуальный осмотр камней показывает, что невыветрившийся камень, как правило, отличается сравнительно большей плотностью. Для подтверждения этого наблюдения нами были отобраны образцы из лежащих близко друг от друга камней туфовой облицовки, показавших различную степень долговечности. Результаты лабораторного изучения этих образцов, отобранных из цоколей различных сооружений, сведены в табл. 28.

* Исследователями истории армянской архитектуры было отмечено [1], что большинство полуразрушенных церквей, дошедших до нас с древнейших времен, сохранило только северную стену. Объяснение этого явления [9] малым нагревом северного фасада солнечными лучами, возможно, правильно, хотя и не вскрывает сущности явления. В нашей работе мы разбираем долговечность каменной облицовки, но не кладки стен. Это разные вопросы.

Таблица 28

№ п/п	Название сооружения	Дата постройки	Объемный вес в кг/м^3		Водопоглощение по весу в %	
			Выветривш. туфового камня	Невыветр. туфового камня	Выветривш. туфового камня	Невыветр. туфового камня
1	Карнутская базилика .	IV—V вв.	1654	1799	17,14	11,20
2	Церковь в с. Айкадзор .	980—985 гг.	1281	1784	25,60	10,63
3	Церковь „Аменапркич“ в Ленинакане . . .	1859—1873гг.	1529	1762	17,72	11,67
4	Магазин в Ленинакане	XIX в.	1057	1557	29,44	18,61

Приведенные данные показывают, что в одной и той же породе камня (в данном случае в туфе ереванского типа) более долговечны сравнительно тяжелые, следовательно, более плотные камни. В частности, основываясь на приведенных цифрах, можно констатировать, что туфы ереванского типа при объемном весе более 1800 кг/м^3 достаточно долговечны даже в условиях применения их в цоколях или в других частях зданий, подвергающихся сильному намоканию и высыханию. Этому объемному весу соответствует примерно 10 % водопоглощения по весу.

Перейдя к другим типам вулканических туфов, можем констатировать, что их поведение в сооружениях, в общих чертах, аналогично поведению туфов ереванского типа.

Высокая долговечность туфа арктического типа подтверждается исключительно хорошей сохранностью его в облицовке стен в Аричском монастыре (750 лет), Лмбатаванке, церкви сурп Георг в Артике и церкви в с. Нор Кянк (по 1300 лет), а также в церкви Аствацацин в Артике (1400 лет).

Физико-механические свойства четвертичных туфов

№ № п. п.	Наименование сооружения	Дата постройки	Тип туфа	Физико-механические		
				Объемн. вес в кг/м ³	Удельн. вес в г/см ³	Пористость в %
1	Ереруйкская базилика . . .	V в.	анийский	1220	2,33	47,5
2	Касахская (Апаранская) базилика . . .	V в.	ереванский	1780	2,53	29,6
3	Церковь в Бюракане	898—931 гг.	бюраканский	1878	2,55	26,2

В указанных сооружениях наблюдается выветривание туфа арктического типа в цоколе, в различной степени, в зависимости от возраста сооружения и, очевидно, от плотности туфа. Необходимо отметить, что туф арктического типа, также как ереванского типа, дает примеры сравнительно быстрого выветривания в цоколе (дом Бичахчяна в Артике, построенный 75 лет тому назад).

Изменения, происходившие в туфе арктического типа в местах выветривания, как показывают исследования, идентичны таковым, имевшим место в туфах ереванского типа. В частности, констатировано наличие мелкочешуйчатого гипсового вещества в порах выветрелого туфа (Лмбатаванк, церковь Аствацацин) или гипсокарбонатного агрегата (церковь сурп Георг).

В общей сложности, несмотря на свою в среднем большую пористость, туф арктического типа по долговечности не только не уступает туфу ереванского типа, но, можно сказать, даже превосходит его.

Более явно преимущество туфа анийского типа. Этот туф в сооружении, насчитывающем 1500 лет су-

свойства проб четвертичного туфа, отобранных из облицовки сооружений

Водопогл. по весу в 0,3	Коефф во- донасыщ.	Предел прочности при сжатии в кг/см ²			Коефф. разиятч.	Коефф. морозост.
		В сухом сост.	В водонас. сост.	После 25 цикл. замор.		
28,0	0,72	124	112	73	0,90	0,65
—	—	166	—	96	—	—
10,5	0,75	226	198	—	0,88	—

ществования (Ереруйк), не имеет каких-либо следов коркообразования. Лишь 2—3 камня нижних рядов, имевшие, по-видимому, особо рыхлую структуру, подверглись поверхностному износу с вымыванием пепловой части. В остальном пемзовый туф анийского типа, с объемным весом порядка 1200 кг/м³, имеет свежий вид, сохранив за 15 веков даже тонкую резьбу по камню.

В отношении вулканического туфа бюраканского типа, на основании обследования церкви в Бюракане, имеющего возраст свыше 1000 лет, можно констатировать, что по долговечности он близок к туфам ереванского типа. Наблюдающуюся в этом сооружении несколько более расширенную зону выветривания туфа в облицовке следует объяснить, очевидно, большей неоднородностью туфа бюраканского типа, наличием в нем многочисленных включений сплошного вулканического стекла и обломков посторонних изверженных пород.

Результаты физико-механических испытаний некоторых проб четвертичных вулканических туфов, кото-

рые удалось отобрать из древних сооружений (табл. 29), показывают, что туфы эти после многовековой службы сохраняют свои основные физико-механические показатели, обладая достаточной прочностью, водостойкостью и морозостойкостью. В отличие от фельзитовых туфов здесь мы не замечаем снижения коэффициента размягчения камня, чем характеризуется превосходство четвертичных туфов над фельзитовыми в отношении долговечности.

§ 26. ВЫВОДЫ

1. Проведенная работа убедительно показала высокую долговечность вулканических туфов четвертичного возраста, а именно туфов ереванского, артикского, анийского и бюраканского типов.

Эти разновидности вулканических туфов хорошо сохраняются в облицовке стен сооружений в течение 1400—1500 лет и более. Хуже они ведут себя в цоколях зданий, не имеющих гидроизоляции. Здесь они подвергаются выветриванию за этот или более короткий срок. Первые признаки выветривания в отдельных камнях цоколя появляются примерно через 50 лет.

Плотные разновидности вулканических туфов четвертичного возраста, например, туф ереванского типа при объемном весе более 1800 кг/м^3 , обладают высокой погодоустойчивостью даже в условиях их службы в цокольной части сооружений.

Исходя из этих данных следует, как правило, воздержаться от применения четвертичных туфов в цоколях, допуская такое применение лишь при условии подбора туфа с объемным весом не менее 1800 кг/м^3 . При этом необходимо устройство гидроизоляции на уровне верха фундамента.

Для облицовки стен любых архитектурных сооружений четвертичные туфы Армении могут быть рекомендованы широко не только в условиях Армянской

СССР, но и далеко за ее пределами, в том числе и в северных районах Союза ССР.

2. Фельзитовые туфы, несмотря на их большую плотность и прочность, отличаются сравнительно пониженной долговечностью. В первую очередь выветриваются части, подвергающиеся чувствительному увлажнению, а именно цоколь, венчающий карниз и другие выступающие части зданий с большим выносом. Поэтому применение фельзитовых туфов для этих частей зданий безусловно должно быть запрещено.

Ввиду особой декоративности фельзитовых туфов, отказаться от их применения в облицовке стен не целесообразно, но предпочтительнее применять их для внутренней облицовки зданий: закрытые пассажи, фойе и т. д.

В облицовке фасадов следовало бы стремиться к сочетанию фельзитовых туфов с погодоустойчивыми каменными породами и материалами, с применением первых преимущественно для гладких плоскостей в отступающих и глубинных частях фасада.

При выборе профилировки архитектурных деталей следует принимать в расчет условие, чтобы атмосферная влага не задерживалась на отдельных частях профилей. Части (с малым выносом), на которых неизбежна задержка влаги, следует покрывать гидроизолирующими материалами (оцинкованная кровельная сталь и др.).

Ввиду чувствительности к влаге, следует обращать особое внимание на тщательное устройство водоотвода с крыш, чтобы исключить возможность просачивания воды на фасад из фельзитового туфа.

В качестве стенового материала фельзитовые туфы, вследствие своей плотности и дороговизны, менее эффективны, чем четвертичные туфы; поэтому целесообразнее облицовку стен фельзитовыми туфами производить не штучными камнями, а облицовочными плитами, распиливаемыми машинным способом. При этом, вдо-

бавок, создается возможность легкой смены отдельных облицовочных плит в случае их выветривания.

3. Исследование образцов фельзитовых туфов из древних сооружений показывает, что морозостойкость камня, установленная по стандартной методике испытаний, не гарантирует его долговечности. Сравнение фельзитовых туфов с четвертичными по результатам их физико-механических испытаний приводит к заключению, что сравнительно низкая долговечность первых, по-видимому, обуславливается низким значением коэффициента размягчения. Характерно, что коэффициент размягчения фельзитовых туфов в древних сооружениях снижается до значения 0,50, тогда как в четвертичных туфах не обнаруживается заметного снижения этого коэффициента, который колеблется в пределах 0,8—0,9.

Исходя из сказанного, можно утверждать, что морозостойкость является далеко не достаточным критерием долговечности строительных камней.

4. Изучение поверхностного слоя камня в облицовке древних и современных сооружений показывает, что при выветривании происходят некоторые изменения состава.

В фельзитовых туфах со временем происходят незначительные изменения состава: окисление рудных минералов, их лимонитизация, сульфатизация, серицитизация. Поскольку эти изменения в сооружениях различного возраста (от 40 до 1400 лет) имеют почти одинаковую интенсивность, они не могут являться основным фактором выветривания фельзитовых туфов.

Сопоставление ряда факторов приводит к мысли, что для поведения фельзитовых туфов существенное значение имеет многократное повторение попеременного водонасыщения и высушивания, приводящее постепенно к разрыхлению их структуры.

В туфах четвертичного возраста налицо солевое выветривание цокольной части сооружений. При этом

происходит коркообразование, с отложением гипсо-карбонатного вещества под коркой.

Для огромного большинства обследованных сооружений, возведенных из различных типов вулканического туфа, характерно сравнительно наибольшее выветривание облицовки южных фасадов.

Это наблюдение подтверждает гипотезу о выветривании туфов вследствие интенсивного протекания процесса многократного высушивания после каждого намочания, вызывающего знакопеременные напряжения, а также интенсивного капиллярного подсоса грунтовых и поверхностных вод, приводящего к накоплению солей в поверхностном слое камня.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Քիրոս Քիրաճեան—Նյութեր հայկական ճարտարապետութեան, I—1942, II—1948, Երևան:
2. Арутюнян В. М. и Сафарян С. А. — Памятники армянского зодчества, Москва, 1951.
3. Ацагорцян З. А. — Естественные строительные камни Армянской ССР и перспективы их применения. Сб. „Закавказская конференция по строительству из естественных каменных материалов“, Баку 1956.
4. Ацагорцян З. А. — Исследование некоторых факторов долговечности вулканических туфов. Сб. „Строительство из естественных каменных материалов“, Москва, 1958.
5. Ацагорцян З. А. — Основные результаты натурных исследований долговечности вулканических туфов. Сб. „Объединенная научная сессия институтов строительных материалов и сооружений Закавказских республик“, Баку, 1958.
6. Ацагорцян З. А. и Мартиросян О. А. — Туфы и мраморы Армянской ССР. Ереван, 1959.
7. Залесский Б. В. — Современное состояние и перспективы применения облицовочных естественных каменных материалов в строительстве. „Труды конференции по строительству из естественных каменных материалов“. Москва, 1951.
8. Залесский Б. В. и Корсунский А. И. — Причина разрушения конструкций и облицовки из естественного камня. „Строительство Москвы“, №№ 20, 21, 23, 24. 1938.
9. Оганесян К. Л. — Зодчий Трдат. Ереван, 1951.
10. Оганесян К. Л. — Архитектура Тейшебани /Кармир-блур, IV/, Ереван, 1951.
11. Степанов В. Я. и Флоренский К. П. — Наблюдения над характером разрушения белокаменных памятников архитектуры Владимиро-Суздальской Руси XII — XIII вв. „Труды института

геологических наук АН СССР*, вып. 146. Петрографическая серия /№ 42/, 1952.

12. Kieslinger A. Zerstörungen an Steinbauten, ihre Ursachen und ihre Abwehr. Leipzig und Wien. 1932.
13. Hirschwald J. Handbuch der bautechnischen Gesteinsprüfung, Berlin, 1912.
14. Shaffer R. J. The weathering of natural building stones, Garston* 1932 (reprinted 1949).

СО Д Е Р Ж А Н И Е

	Стр.
§ 1. Введение	5
Г л а в а I. СООРУЖЕНИЯ ИЗ ФЕЛЬЗИТОВЫХ ТУФОВ	10
§ 2. Одзунский храм	11
§ 3. Оромиайр	19
§ 4. Хневанк	22
§ 5. Мшакаванк	25
§ 6. Сооружения в райцентре Ноемберян из фельзитового туфа Бертахского месторождения	31
7. Сооружения в селах Калача и Кёрплю Ноемберянского района из калачинского и кёрплинского фельзитовых туфов	42
§ 8. Сооружения в с. Шахназар Калининского района из шахназарского фельзитового туфа	44
§ 9. Сооружения в селах Калининно и Медовка Калининского района из медовского фельзитового туфа	46
§ 10. Сооружения в селах Качаган и Узунлар Алавердского района из патерского фельзитового туфа	47
§ 11. Сооружения на жел. дор. ст. Туманян из туманянского фельзитового уфа	49
§ 12 Сооружения в г. Ереване из фельзитовых туфов . . .	50
§ 13. Сооружения в г. Тбилиси из фельзитовых туфов Армянской ССР	53
Г л а в а II. СООРУЖЕНИЯ ИЗ ТУФОВ ЕРЕВАНСКОГО ТИПА	55
§ 14. Древние сооружения в гор. Эчмиадзин и его окрестностях (IV — VII вв.)	55
§ 15. Древние сооружения в Апаранском районе (V в.) . .	58
§ 16. Сооружения в Котайкском районе (VII — XIX вв.) .	60
§ 17. Сооружения в Аштаракском Районе (XIII — XVII вв.)	62
§ 18. Сооружения в г. Ленинакане и его районах (IV — XIX вв.)	66

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница или фигура	Строка		Напечатано	Должно быть
	Сверху	Снизу		
стр. 18	1	—	2FeO_3	$2\text{Fe}_2\text{O}_3$
фиг. 16, 17, 18, 19	—	1	· XII	XIII
стр. 26	—	5	онисание	описание
стр. 29	2	—	TiO	TiO ₂
стр. 41	5	—	сухо	сухом
фиг. 67	—	1	Сурб	Сурп
стр. 62	—	16	подверглась—	подверглась
фиг. 96	—	1	цокола	цоколя
стр. 76	9	—	здееь	, здесь
стр. 95	15	—	0.54	0,50
стр. 102	—	20	степе,	степе-
стр. 108	—	14, 15	Армянской ССР	Армении (на армянском языке)
стр. 110	6	—	Оромиайр	Оромайр
стр. 110	8	—	Мшакаванк	Мшқаванк

§ 19. Сооружения в г. Ереване	75
Г л а в а III. СООРУЖЕНИЯ ИЗ ТУФОВ БЮРАКАНСКО- ГО ТИПА	78
§ 20. Церковь в Бюракане	78
Г л а в а IV. СООРУЖЕНИЯ ИЗ ТУФОВ АНИЙСКОГО ТИПА	82
§ 21 Ереруйк	82
Г л а в а V. СООРУЖЕНИЯ ИЗ ТУФОВ АРТИКСКОГО ТИПА.	85
§ 22. Сооружения в г. Артик и в с. Нор Кянк	85
§ 23. Аричский монастырь	88
Г л а в а VI. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБСЛЕДОВАНИЙ И ВЫВОДЫ	90
§ 24. Обобщение результатов обследования сооружений из фельзитовых туфов	90
§ 25. Обобщение результатов обследования сооружений из четвертичных вулканических туфов	95
§ 26. Выводы	104
ЛИТЕРАТУРА	108

Ацагорцян Завен Арсенович
**Долговечность вулканических туфов Армении
в древних и современных сооружениях**

Армянский институт стройматериалов и
сооружений. Ереван, Аванское шоссе 13.

Техн. редактор Э. Мушегян
Контр. Корректор Р. Григорян



8 p. 20 н.

13945