

НЕОРГАНИЧЕСКАЯ ХИМИЯ

К. В. Хармандарян

Физико-химические исследования туфовых песков
и изыскание новых путей их применения

Целью настоящей работы является:

1. Изучение физико-химических изменений туфовых песков в процессе их обжига при температуре 1000—1200°C, в зависимости от газовой среды и продолжительности обжига.
2. Изучение кристаллизации вулканического стекла, входящего в состав туфовых песков, при указанных условиях.
3. Установление возможности применения туфовых песков в производстве кислотоупорных и электроизоляционных изделий.

Туфовые пески различной мощности известны в Приереванском районе, Октемберянском, Ленинанском, Кироваканском, Талинском и других районах Армении. Такие же туфовые пески, под плотными туфами различных возрастов, известны на Северном Кавказе, на Дальнем Востоке, за пределами СССР — в Новой Зеландии, Калифорнии и др.

В Химическом институте АН Армянской ССР уже несколько лет ведется работа по получению кислотоупорных и электроизоляционных изделий из молотого туфа, путем прессовки и обжига [1, 2].

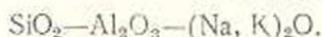
В нашем исследовании предлагаются в качестве материала для приготовления подобных изделий туфовые пески, не требующие процесса дробления. В естественном виде эти пески имеют очень высокую степень измельчения, а по остальным качествам они не уступают обычным плотным туфам.

Туфы и туфовые пески органически и генетически связаны между собой, причем туфовые пески залегают обычно под плотными черными туфами, отделяясь от них тонким пемзовым прослоем. Установлено [3, 4], что туфовые пески и вышележащие плотные разности туфов характеризуются почти одинаковым как минералогическим, так и химическим составом.

Туфовые пески — многокомпонентная, гетерогенная, силикатная система. В них присутствуют различные окислы, часть которых находится в породе в виде минералогических агрегатов. Отдельные окислы могут присутствовать и в свободном виде.

Из данных химических анализов туфовых песков, приведенных в экспериментальной части настоящей работы, видно, что около 90%

породы составляет сумма окислов SiO_2 , Al_2O_3 , $(\text{Na}, \text{K})_2\text{O}$. Поэтому можно полагать, что туфовые пески представляют собой определенную область диаграммы состояния 3-компонентной системы:



Характерной особенностью этой системы является чрезвычайно большая склонность к стеклообразному затвердеванию. В связи с этим мы полагаем, что большая часть туфовой магмы, которая представляла в основном жидкую, полувязкую смесь этих окислов, в условиях быстрого охлаждения затвердела в вулканическое стекло, составляющее 80% туфовой породы. Подробное рассмотрение диаграмм равновесия систем: анортит-альбит-ортоклаз, альбит-анортит, альбит-ортоклаз, приводит к следующему представлению о ходе кристаллизации туфовой магмы. При кристаллизации в первую очередь кристаллизуется анортит, затем увлекает за собой из жидкой смеси альбит (ввиду их хорошей взаимной растворимости) с образованием плагиоклазов ряда андезин-лабрадор. Большая часть альбита, вместе с ортоклазом, дающие более вязкую массу и, следовательно, имеющие очень большую склонность переходить в состояние переохлажденной жидкости, затвердевают и образуют Na, K — палеовшпатовое стекло.

Известно, что если в образцах, полученных путем прессовки и обжига туфовых песков, сохранится значительное количество стекла, то оно ослабит их термическую, механическую и химическую стойкость. Поэтому мы в настоящей работе уделили внимание кристаллизации вулканического стекла, входящего в состав туфовых песков. Нами подробно рассмотрены [5, 6, 7, 8] и исследованы факторы, влияющие на процесс кристаллизации вулканического туфового стекла, — влияние газовой среды, поверхности раздела фаз, добавок. Проведено подробное исследование микроструктуры полученных образцов и т. д.

До настоящего времени туфовые пески применялись только как строительный материал, однако научное и практическое изучение их откроет перспективы для всестороннего и разнообразного использования туфовых песков.

Экспериментальная часть

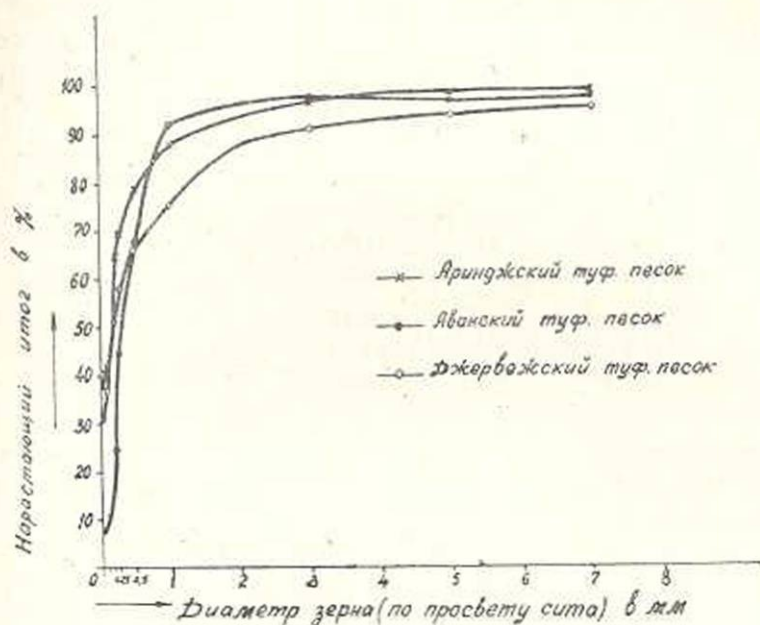
Объектами исследования явились туфовые пески 3 месторождений Приереванского района — Аванского, Аринджского и Джервежского.

Макроскопически эти туфовые пески имеют серовато-черный цвет и очень высокую степень измельчения.

Определение гранулометрического состава показало, что наиболее мелким и однородным является туфовый песок Аринджского месторождения, в котором 38,3% составляют частички, проходящие через сито с отверстиями в 0,068 мм. Затем идет Джервежский туфовый песок, у которого самая мелкая фракция составляет 31,4%, и последнее место, по степени измельчения, занимает туфовый песок Аванского месторождения.

На фиг. 1 изображен гранулометрический состав исследуемых туфовых песков.

По оси абсцисс откладывается просвет сита в мм, а по оси ординат — процентное содержание каждой фракции, прибавленное ко всему количеству песка мельче данного („нарастающий итог“). Кри-



Фиг. 1.

вая располагается тем ближе к оси ординат, чем мельче песок и чем он однороднее.

Обычными методами силикатного анализа определялось содержание важнейших по образующим окислов. Результаты химического анализа приведены в табл. 1.

Таблица 1			
	Аванский туфовый песок	Аринджский туфовый песок	Джервеж- ский туфо- вый песок
SiO ₂	61,91	63,77	62,37
TiO ₂	0,55	0,69	0,81
Al ₂ O ₃	16,35	15,00	16,69
Fe ₂ O ₃ +FeO	3,10	3,81	3,66
MnO	0,02	0,02	0,03
CaO	4,92	3,05	3,72
MgO	1,98	1,15	1,14
Na ₂ O	4,72	4,65	4,10
K ₂ O	2,61	3,88	3,69
H ₂ O(100°C)	1,03	0,66	0,67
п. п. п.	2,66	2,20	2,43
	99,35	98,88	99,81

Как видно из данных табл. 1, содержание SiO₂ составляет 61—63%, Al₂O₃ — 15—16%, (Na, K)₂O — 7—8%. Содержание остальных окислов, вместе взятых, не выше 10%. Кроме того, данные таблицы пока-

зывают, что химический состав у них примерно одинаковый и основное отличие между туфовым песком Аванского месторождения, с одной стороны, и туфовыми песками Ариджского и Джервежского, с другой — состоит в количестве CaO и MgO . Аванский туфовый песок содержит 4,9% CaO и 1,9% MgO . Ариджский и Джервежский пески содержат 3,0–3,72% CaO и 1,15–1,14% MgO .

Спектральные анализы показали, что в туфовых песках имеются следы элементов V, Ni, Cu, Ga и кроме того обнаружены в заметных количествах Zr.

Микроскопические исследования производились на изготовленных из соответствующих туфовых песков шлифах, с помощью поляризационного микроскопа. Исследования показали, что туфовые пески содержат большое количество вулканического стекла. Количество стеклофазы составляет для Аванского туфового песка 70% породы, для Ариджского — 80–85%, для Джервежского — 85–90%. Стеклофаза в основном окрашена в коричневый цвет с разными оттенками (от темно-бурого цвета до светло-желтого). В некоторых местах стекло окрашено неравномерно — в виде точек или в виде полосок. Особенно характерно полосчатое окрашивание. Попадаются куски совершенно прозрачного белого стекла. На некоторых кусках вулканического стекла, особенно на наиболее окрашенных, замечается процесс растеклования.

Минералогический состав туфовых песков почти однороден и характеризуется следующими основными породообразующими минералами.

Плагноклазами, которые представлены олигоклаз-андезином, реже лабрадором. Минералами группы *пироксенов* — представлены двумя разновидностями. Из моноклиновых пироксенов присутствует *авгит*, из ромбических — *гиперстен*. В шлифах присутствуют, также и рудные минералы, принадлежащие *магнетиту*. Из амфиболов замечено только одно зерно, по-видимому, роговая обманка. Заметны также отдельные зерна кварца и некоторых других минералов. Из аксессуарных минералов встречается апатит.

Нами проводилось определение кислотостойкости природных туфовых песков. Для испытания брались следующие кислоты:

HCl — удельный вес	1,17—1,18
H_2SO_4 " "	1,82
HNO_3 " "	1,40.

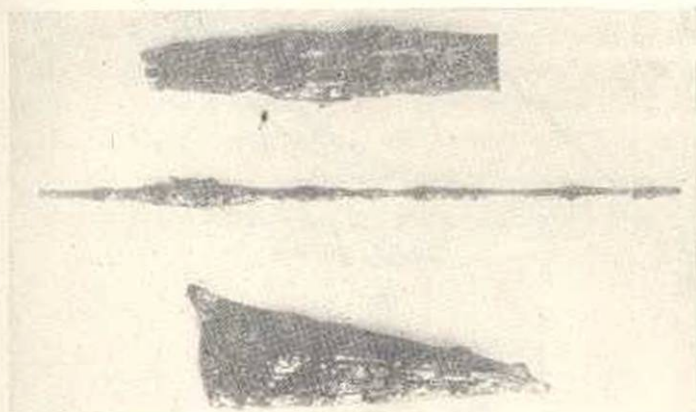
Испытание на кислотостойкость сводилось к определению потери в весе испытуемого материала после обработки его соответствующей кислотой. Результаты испытания показали, что туфовые пески представляют собой природный кислотоупорный материал, причем кислотостойкость в процентах для всех разновидностей туфовых песков составляет 94–98%.

Для полной физико-химической характеристики исследуемых ту-

фовых песков производилось определение удельных и объемных весов, степени окисления (отношения закисного железа к окисному), температуры размягчения и т. п.

Для определения температуры размягчения мы пользовались методом фиксации температуры, при которой удлинение стеклянной нити, растягиваемой постоянной нагрузкой, достигает заданной величины.

При температуре 1300°C и выдержке 5 часов, из природных туфовых песков без их дополнительного измельчения были получены неоднородные стеклянные нити. В общей стеклянной массе сохранились отдельные светлые нерасплавившиеся зерна (фиг. 2).



Фиг. 2.

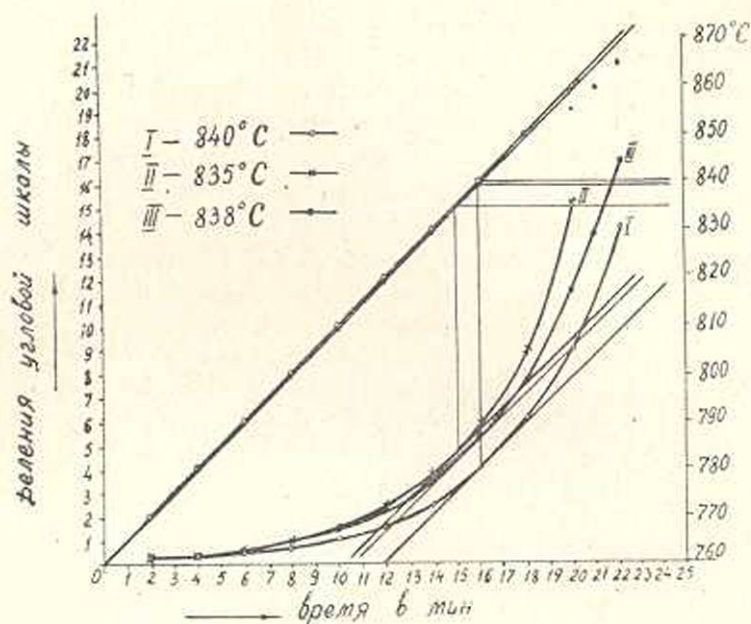
Однако при тех же условиях, применяя предварительно измельченные туфовые пески, нам удалось получить однородные стеклянные нити диаметром $0,5-1\text{ мм}$, длиной до 1 м . Температуру размягчения полученных таким образом нитей находили графически (фиг. 3, 4, 5) на основании экспериментальных данных.

Как было уже отмечено, наличие большого количества стекла ослабляет термическую, механическую и химическую стойкость изделий, полученных из туфовых песков путем прессовки и обжига. Поэтому вопрос кристаллизации вулканического туфового стекла в процессе получения различных изделий из прессованного туфового песка имеет очень важное значение. Разрешение этого вопроса может дать возможность технологам по своему желанию изменять как кристаллическую, так и стеклообразную фазы в получаемых изделиях.

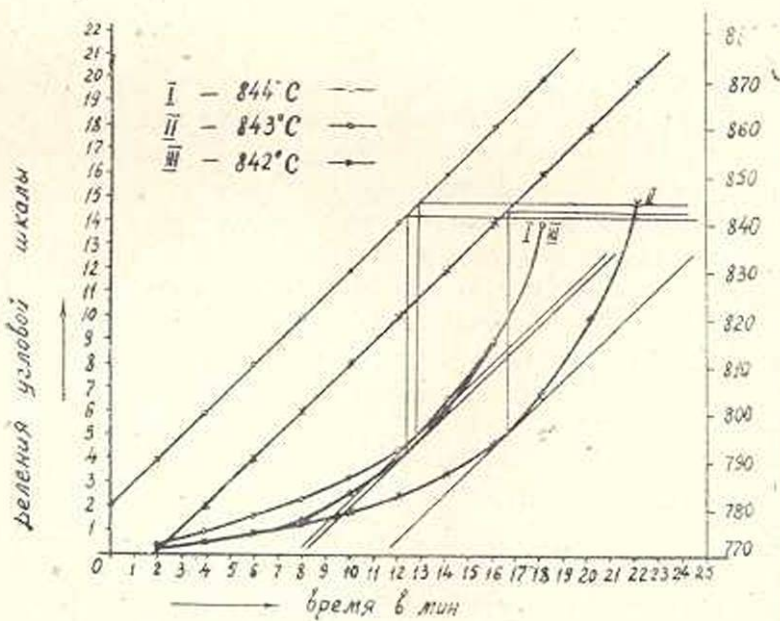
Для производства опытов по кристаллизации вулканического туфового стекла в атмосфере водорода и кислорода, мы пользовались установкой, показанной схематически на фиг. 6.

Водород получали в аппарате Киша. Само собой разумеется, что при создании водородной атмосферы, были приняты все меры для того, чтобы получить его свободным от паров воды и различных примесей. Давление водорода в печи поддерживалось несколько большим, чем

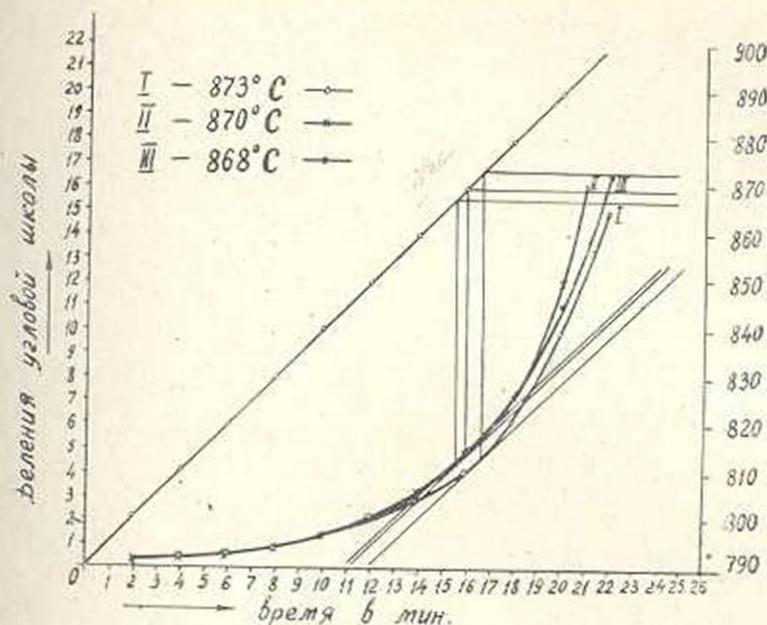




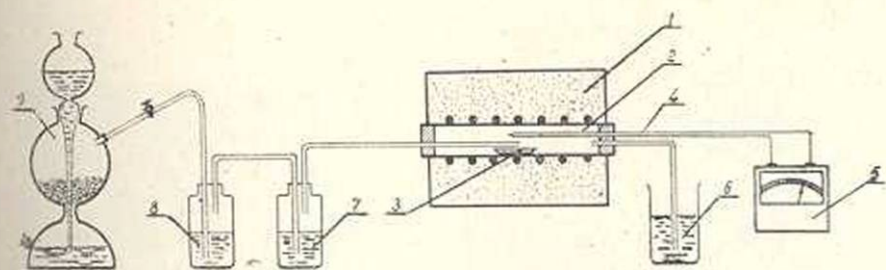
Фиг. 3.



Фиг. 4.



Фиг. 5.



Фиг. 6. 1— электрическая трубчатая печь; 2— фарфоровая трубка с обмоткой для создания необходимой атмосферы; 3— фарфоровая лодочка; 4— платино-платинородиевая термопара; 5— гальванометр; 6— гидравлический затвор; 7— концентрированная H_2SO_4 ; 8— щелочной раствор $KMnO_4$; 9— аппарат Киппа.

атмосферное, что препятствовало подсасыванию воздуха. Кислород получали из баллонов, доставляемых для научно-исследовательских целей. Интервал температур, при которых велись исследования, лежал в пределах 1000—1200°C. Для исследования применялись туфовые пески, как в естественном виде, т. е. без дополнительного измельчения, так и измельченные.

Фарфоровая лодочка, наполненная туфовым песком, ставилась в электрическую трубчатую печь. Температура зоны испытания определялась Pt/PtRh-вой термопарой. Скорость нагрева электрической печи при всех опытах поддерживалась строго постоянной. Время выдержки при данной температуре было различно — 2, 4, 8 ч.

Для сравнения опыты по кристаллизации вулканического туфового стекла проводились также в атмосфере воздуха.

Образцы после испытания подвергались макроскопическому и микроскопическому исследованию. Результаты исследования показали:

1. Образцы туфовых песков в восстановительной среде (H_2) быстрее и лучше подвергаются кристаллизации, чем в окислительной среде (O_2 , воздух).

2. Кристаллизация вулканического стекла при повышении температуры увеличивается, достигая максимума при $1150-1180^\circ C$.

3. Кристаллизация вулканического стекла с увеличением времени выдержки, при данной температуре, увеличивается.

4. При температуре $1200^\circ C$ мы имеем хорошо развитые кристаллы, но некоторое увеличение стеклофазы за счет начинающегося процесса плавления.

5. При температуре максимальной кристаллизации преобладающей кристаллической фазой являются плагиоклазы второй генерации, при этом более кислые, чем плагиоклазы первой генерации.

6. Поведение туфовых песков Ариджского и Джервежского месторождения, при указанных условиях обжига, совершенно одинаково и кристаллизация вулканического стекла в них, по сравнению с Аванским, идет в значительно меньшей степени, (см. фиг. 7, 8, 9, 10, 11).



Фиг. 7. Природный туфовый песок
Аванского м-ния, б/анализатора.
Ув. 34.



Фиг. 8. Природный туфовый песок
Ариджского м-ния, б/анализатора.
Ув. 44.



Фиг. 9. Природный туфовый песок Джервежского м-ния, б/анализатора. Ув. 50.



Фиг. 10. Туфовый песок в атмосфере водорода, $t=1150^{\circ}\text{C}$, выдержка 4 ч. с анализатором. Ув. 60.

Незначительная степень кристаллизации вулканического стекла Аринджского и Джервежского туфовых песков, по-видимому, объясняется меньшим содержанием в них окислов CaO и MgO , которые, как известно, обладают минерализаторскими способностями [5, 7]. Для подтверждения этой мысли нами были проведены опыты с добавкой непрокаленного и прокаленного доломита. Непрокаленный доломит, вследствие выделения углекислого газа при разложении, вызывал вспучивание образцов. Прибавление прокаленного доломита производилось из расчета недостающего количества CaO и MgO в Аринджском и Джервежском туфовых песках по сравнению с Аванским. Опыты показали, что CaO и MgO повышают кристаллизационную способность вулканического стекла туфовых песков Аринджского и Джервежского месторождения.



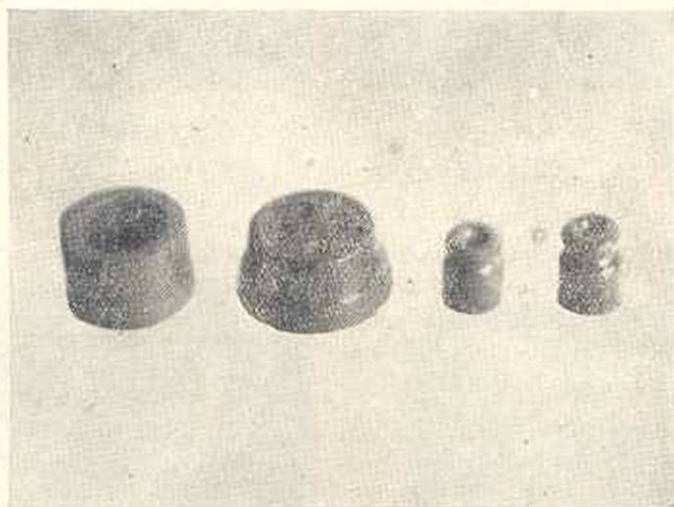
Фиг. 11. Туфовый песок в атмосфере кислорода, $t=1150^{\circ}\text{C}$, выдержка 4 ч. с анализатором. Ув. 60.

Для выяснения возможности практического применения туфовых песков, были изготовлены из них прессованные и обожженные при определенных условиях образцы, на которых изучались механические и физико-химические свойства.

Исследования производились следующим образом.

Туфовые пески Аванского, Аринджского и Джервежского месторождений были доизмельчены в шаровой мельнице и пропущены через сито 4900 *отв/см²*. Для получения более или менее механически прочных образцов после прессовки, в качестве связующего применялась туманянская глина в количестве 20% и щелочь — 1% (концентрация 1 г NaOH в 8 мл раствора).

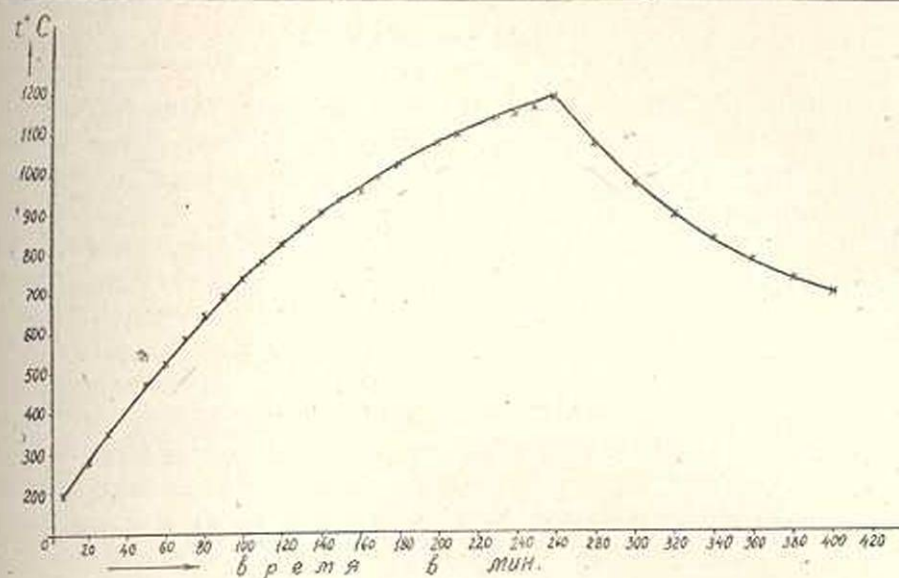
Следует отметить, что пластичные смеси из туфовых песков и связующих материалов не ставили никаких ограничений для получения изделия самых разнообразных форм — от простых плиток до сложных изделий — роликов, штепселей, колец Рашига и т. п. (фиг. 12).



Фиг. 12.

Для исследования готовились образцы в виде цилиндров с диаметром 1,7—1,8 см и высотой 1,6—1,7 см. Образцы без предварительной сушки обжигались в муфельной печи. Для всех опытов термическая кривая поднятия температуры и охлаждения муфельной печи поддерживалась одинаковой и строго постоянной (фиг. 13).

Для нахождения оптимальной температуры обжига, т. е. температуры, при которой получают хорошо обожженные, покрытые глазурью, недеформированные образцы, был произведен обжиг прессованных образцов, как при высоких температурах без выдержки, так и при более низких температурах, но с выдержкой. Температурная кривая печи, в которой производился обжиг, показывала, что в пределах температур 1050—1150°C образцы пребывали в течение 2—2,5 часов. Опыты показали, что для получения хорошо обожженных об-



Фиг. 13.

разцов температура 1150°C является предельной, выше которой образцы деформируются. Кроме того, небольшая выдержка при температуре выше 1100°C также приводила к значительным деформациям образцов. В связи с этим вытекала необходимость снижения температуры обжига и возможность установления определенной выдержки при более низкой температуре. Время выдержки колебалось в зависимости от температуры от 0 до 2 ч.

Подробное макроскопическое исследование полученных после обжига образцов показало, что наилучшей температурой обжига является интервал 1100—1150°C без выдержки, в случае же выдержки (2 ч.) оптимальная температура — 1050°C.

При температуре оптимального обжига происходит равномерное уменьшение объема обожженных изделий (см. фиг. 12). Обожженные образцы имеют очень плотный излом. Цвет от темно-шоколадного для аванского туфового песка до буровато-коричневого цвета для аринджского и джервежского песков. В изломе образцов замечаются, в очень небольшом количестве, отдельные мелкие пустоты размером от 0,01 мм до (в редких случаях) 0,5 мм. Поверхность обожженных образцов при оптимальной температуре обжига покрывается очень тонким слоем естественной глазури. Блеск глазури несколько интенсивен в случае аринджского и джервежского туфовых песков, а в случае аванского песка образцы имеют матово-шоколадный блеск.

Определение кислотостойкости показало, что полученные таким путем образцы более кислотостойки, чем природные туфовые пески (см. табл. 2).

Определения водопоглощения производились по ГОСТ-у 7025—54. Результаты определения приведены в табл. 3.

Таблица 2

Наименование	H ₂ SO ₄ уд. вес 1,82	HCl уд. вес 1,17—1,18	HNO ₃ уд. вес 1,40
Аванский туфовый песок	93,94	94,11	96,34
Ариджский туфовый песок	96,60	96,77	98,36
Джервежский туфовый песок	96,85	95,59	97,84
Образцы из аванского туф. песка	99,98	99,64	99,82
" ариджского " "	99,88	99,93	99,89
" джервежского " "	99,92	99,89	99,54

Таблица 3

Наименование	Водопоглощаемость (среднее из 3 опред.)
Цилиндрики из аванского туфового песка	0,00109
Цилиндрики из ариджского туфо- вого песка	0,00214
Цилиндрики из джервежского ту- фового песка	0,00214

Данные таблицы показывают, что изготовленные нами образцы обладают близким к нулю водопоглощением.

Механические испытания образцов показали, что они обладают высокой прочностью на сжатие—1600—1700 кг/см².

Результаты определения удельных и объемных весов полученных образцов приведены в таблице 4.

Таблица 4

Образцы из:	Удельный вес	Объемный вес
аванского туфового песка	2,52	2,45
ариджского туфового песка	2,44	2,37
джервежского туфового песка	2,47	2,39

Подробные исследования электроизоляционных свойств изделий, изготовленных из туфовых песков, нами не производились. Однако для получения сравнительных показателей были проведены испытания на электрический пробой в масле. Испытания показали, что электрическая прочность роликов, изготовленных из туфовых песков и стандартных фарфоровых роликов, практически одинакова. Все три образца фарфоровых роликов имели пробивное напряжение 20000—21000 вольт. Ролики из туфовых песков—20400—21000 вольт. Таким образом, результаты исследования дают основание считать, что туфовые пески могут представлять интерес в производстве электроизоляционных и кислотоупорных изделий.

В ы в о д ы

1. Впервые проведены физико-химические исследования туфовых песков для установления возможности их применения в различных отраслях промышленности.

2. Изучено влияние восстановительной и окислительной среды на процесс кристаллизации вулканического туфового стекла. При этом установлено, что образцы туфовых песков в восстановительной среде быстрее и лучше подвергаются кристаллизации, чем в окислительной среде. При восстановительных процессах (в среде H_2) образцы приобретают более плотную, мелкокристаллическую структуру и имеют черно-стальной цвет. При окислительных процессах (в среде O_2 и воздуха) кристаллизация вулканического туфового стекла идет заметно слабее, полученные образцы содержат большое количество стекломассы и имеют буровато-красный цвет.

3. Изучено влияние прокаленного и непрокаленного доломита на процесс кристаллизации вулканического туфового стекла. При этом выявлено, что непрокаленный доломит вследствие выделения углекислого газа вызывает заметное вспучивание, хотя и присутствие окислов CaO и MgO способствует кристаллизации. Применением прокаленного доломита устраняется отрицательное влияние углекислого газа и одновременно удается значительно увеличить кристаллическую фазу в процессе обжига туфовых песков Ариджского и Джервежского месторождений.

4. Установлено, что прессованные образцы из туфового песка с глиной и щелочью ($NaOH$) совершенно не требуют предварительной сушки до поступления в температурную зону обжига. Это обстоятельство упрощает технологический процесс получения изделий из туфовых песков и имеет преимущество по сравнению с технологией фарфоровых изделий.

5. Добавка глины и щелочи к туфовому песку способствует повышению механической прочности и быстрому затвердеванию прессованной массы.

6. Химические анализы показывают, что туфовые пески, как и плотные туфы, с некоторым отклонением содержат почти одинаковое количество кремнезема (60—70%) и как таковые относятся к числу кислых пород, обладающих высокой кислотоупорностью. Применяемый нами способ прессовки туфового песка вместе с глиной и незначительным количеством щелочи дает возможность получить из различных разновидностей туфовых песков образцы более кислотоупорные, чем природные туфовые пески.

7. Проведены исследования по увеличению продолжительности выдержки при более низкой температуре обжига. При этом установлено, что образцы, выдержанные определенное время при более низких температурах, с таким же успехом, как и при высоких темпера-

турах, но без выдержки, подвергаются полноценному обжигу с образованием на поверхности глазури.

8. Прессованные из туфового песка образцы, после проведения через температурную зону обжига, превращаются в механически прочные, глазурованные изделия, которые имеют очень большую стойкость по отношению к кислотам и обладают высокими электроизоляционными свойствами.

Таким образом, проделанные исследования являются началом создания новой области применения туфовых песков.

Экспериментальная часть настоящей работы выполнена под руководством М. Г. Манвеляна.

Химический институт
АН Армянский ССР

Поступило 23 XI 1956

Կ. Վ. ԽԱՐՄԱՆԴԱՐՅԱՆԸ

ՏՈՒՖԱՅԻՆ ԱՎԱԶՆԵՐԻ ՖԻԶԻԿՈ-ՔԻՄԻԱԿԱՆ ՀԵՏԱԶՈՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ՆՐԱՆՑ ԿԻՐԱՌՄԱՆ ՆՈՐ ՈՒՂԻՆԵՐԻ ՈՐՈՆՈՒՄԸ

Ա Մ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Հստակապես պայմանավորված է տրվում, որ առաջին անգամ կատարվել են առաջին ավազների ֆիզիկո-քիմիական հետազոտություններ՝ էլեկտրամեկուսիչ և թթվակայուն շինվածքների արտադրության մեջ նրանց կիրառման հնարավորությունը պարզելու համար: Առումնադրված է վերականգնումն և օքսիդացման միջավայրի ազդեցությունը հրաբխաառաջացած աղակալ բյուրեղացման վրա: Ընդամենը պարզված է, որ առաջին ավազների նմուշները վերականգնման միջավայրում (H_2) աղելի արագ և աղելի լավ են բյուրեղացման ենթարկվում, քան օքսիդացման միջավայրում (O_2 , օդ): Առումնադրված է շիկացած և ոչ շիկացած դոմիտի ազդեցությունը հրաբխաառաջացած աղակալ բյուրեղացման պրոցեսի վրա: Ընդ որում պարզված է, որ շիկացած դոմիտը զգալիորեն մեծացնում է բյուրեղացման փափր Ասինջի և Ավանի հանքավայրերի առաջին ավազների թրծման պրոցեսում:

Հաստատվում է, որ առաջին ավազի մամլած նմուշները՝ կալի և աննշան քանակությամբ հիմքի ($NaOH$) հետ մեկտեղ, ամենակի նախնական շտապում չեն պահանջում մինչև թրծման ջերմաստիճանային գոտին մտնելը: Այդ հանգամանքը կարող է պարզեցնել առաջին ավազներից շինվածքներ ստանալու անխնայողիական պրոցեսը: Մամլած նմուշները թրծման ջերմաստիճանային գոտուց անցնելուց հետո դառնում են լիարժեք, մեխանիկապես ամուր, ջնարակված շինվածքներ, որոնք ունեն մեծ թթվակայունություն և էլեկտրամեկուսիչ հատկություններ:

ЛИТЕРАТУРА

1. Манвелян М. Г., Трчунян А. А., Погосян Р. П. Высокотемпературный и электроизоляционный материал, полученный из туфа путем прессовки и обжига. Авторское свидетельство № 368164, 1949.
2. Манвелян М. Г., Погосян Р. П., Тер-Карапетян С. Отчет по теме: «Изучение туфов Армении с целью получения из них кислотоупорных и электроизоляционных изделий». Химический институт АН Армянской ССР, 1951.
3. Заварицкий А. Н. Игнимбриты Армении. Известия АН СССР, Геологические науки, № 3, 1947.
4. Месроbian А. И. О генезисе четвертичных туфов Армении. Известия АН Армянской ССР, т. IV, № 4, 1951.
5. Гинзберг А. С. Экспериментальная петрография, М., 1951.
6. Безбородов М. А. и Курдянкин Ф. А. Влияние газовой среды на кристаллизацию кварцевого стекла. Ак-у Д. С. Белянкину к семидесятилетию со дня рождения и сорокалетию научной деятельности, 1946. Изд. АН СССР, 1946.
7. Мюлензифен В. и Циммер Э. Кристаллизация технических стекол. Журн. «Керамика и стекло», № 10, 1931.
8. Bowen N. L. and Tuttle O. F. The system $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{—KAlSi}_3\text{O}_8\text{—H}_2\text{O}$. Journ. Geol. 58, № 5, 1950.