

ЗАКОНОМЕРНОСТИ  
ФОРМИРОВАНИЯ  
И РАЗМЕЩЕНИЯ  
МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ВУЛКАНИЧЕСКОГО  
СТЕКЛА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО РУДООБРАЗОВАНИЮ



АКАДЕМИЯ НАУК СССР  
ОТДЕЛЕНИЕ НАУК О ЗЕМЛЕ  
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО РУДООБРАЗОВАНИЮ

551.217.553

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВУЛКАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА

ЕГО СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

865

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА» МОСКВА 1969



Ответственный редактор В. П. ПЕТРОВ

Редакционная коллегия: В. П. ПЕТРОВ, В. П. ЕРЕМЕЕВ, С. П. КАМЕНЕЦКИЙ,  
Г. А. СОКОЛОВ, Б. М. ГРИГОРОВИЧ,  
В. В. НАСЕДКИН, А. В. ЖУКОВ

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Сборник составлен из работ, рассмотренных на совещании, посвященном закономерностям формирования и размещения месторождения вулканического стекла и близких к ним пород, их свойствам и применению, проходившем в Москве в декабре 1966 г.

При исследовании месторождений вулканического стекла необходимо иметь в виду два аспекта: генетический и технологический.

Правильное понимание генезиса чрезвычайно важно при проведении поисково-разведочных работ и технологического опробования. Закономерности формирования и размещения месторождений обусловлены региональными и локальными особенностями геологических процессов. Первые связаны с эволюционным изменением крупных участков земной коры и проявлениями вулканизма на определенных этапах их развития. Вторые определяются вулканическими явлениями в пределах одного очага, особенностями формирования отдельных вулканических тел и последующего их изменения. В процессе остывания экструзивных куполов и потоков образуются сложные зональные структуры, состоящие из петрографически неоднородных типов стекловатых пород. Для исследования микроскопически аморфного стекла необходимо применение специфических методов изучения: термического анализа, инфракрасной спектроскопии, электронной микроскопии и т. д.

Технологический аспект проблемы заключается в индивидуальном подходе к опробованию разведываемого объекта. Дело в том, что перлиты каждого месторождения обычно обладают целым рядом петрографических особенностей, требующих тщательной отработки технологии процесса вслушивания. Естественно, для того, чтобы правильно оценить перспективы месторождения, геолог должен достаточно хорошо разбираться в технологии переработки сырья. В свою очередь работа технолога в таких условиях является крайне сложной и трудоемкой, а поэтому проведение ее на основе недостаточных геологических данных и на малопредставительных образцах может привести к излишней затрате средств и времени.

Эту особенность рассматриваемого полезного ископаемого учитывали организаторы совещания по закономерностям формирования и размещения месторождений вулканического стекла, включив в сборник целый ряд статей прикладного характера.

В соответствии с тематикой статьи сгруппированы в три раздела.

В первый выделены те, в которых рассматриваются теоретические вопросы формирования стекловатых пород. Существенно новым в статьях этого раздела является рассмотрение условий формирования стекловатых пород на определенном этапе континентального вулканизма (Е. Ф. Малеев, К. Г. Ширинян). Эти представления в известной мере определяют особенности регионального прогнозирования перлитовых и

пемзовых месторождений. Интересен и разбор генетических особенностей пористых стекловатых пород пемз и вулканических шлаков, которые сейчас рассматриваются как важные полезные ископаемые.

Второй раздел сборника, посвященный описанию месторождений вулканических стекол, методике их разведки и опробования, пожалуй, самый интересный. Здесь разобраны особенности строения отдельных месторождений, а также природные ресурсы всех основных эксплуатируемых районов и перспективы известных проявлений вулканического стекла, пемзы и шлака. Раздел открывается сводкой М. Б. Григоровича, характеризующей общую разведанность рассматриваемых полезных ископаемых. В последующих статьях описываются отдельные важнейшие месторождения Армении, Хабаровского края, Камчатки, Закарпатья, Забайкалья, Казахстана, Крыма и зарубежных стран. Новое здесь в рассмотрении не только месторождений перлита, но и близких к нему стекловатых пород пемзы и шлака и в несколько ином, чем ранее, подходе к слабовспучивающимся материалам. Оказалось, что породы, вспучивающиеся в 3—4 раза, хотя и не могут быть перевозимы на далекое расстояние, но как местный материал весьма хороши и использование их в районе месторождения экономически вполне целесообразно.

Выявление природы воды в стеклах, методика их исследования и оценки являются задачей следующего, третьего раздела. Некоторые работы, включенные сюда, интересны и для общей петрографии. Таковы, в частности, работы, исследующие природу воды в стекле и вязкость стекла под давлением водяных паров. Результаты исследований, изложенных в статьях этого раздела, лежат в основе оценки вулканических стекол. В этот же раздел помещены работы, рассматривающие ряд новых видов использования стекловатых пород и новых методов их изучения. Особенно важны здесь работы по использованию стекол в керамической и металлургической промышленности. Следует обратить внимание на крайне интересную статью инициатора промышленного использования перлита акад. П. П. Будникова, дающую содержательную историю развития перлитовой промышленности и ее перспективы. Важным является то, что авторы статей данного раздела разбирают не только традиционные виды применения стекла, а главное внимание уделяют новым перспективным видам его потребления.

Прошло уже более десяти лет после того, как перлит стал «большим» полезным ископаемым, но до сих пор еще вулканическое стекло является «новым» видом минерального сырья. В промышленное использование входят все новые и новые виды стекол; находятся также и новые виды использования, которые предъявляют новые специфические требования к стеклу. О том, что этот процесс интенсивно продолжается, свидетельствует настоящий сборник, но перспективы еще очень велики и перед геологами вновь встает задача дальнейших поисков месторождений вулканического стекла, особенно в районах интенсивного строительства.

## ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

# ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СТЕКЛООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД И СВЯЗЬ ИХ С ЭТАПАМИ ВУЛКАНИЗМА

---

В. П. ПЕТРОВ

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И РАЗМЕЩЕНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ И БЛИЗКИХ К НИМ ПОРОД НА ТЕРРИТОРИИ СССР И ЗА РУБЕЖОМ

### ВЛИЯНИЕ СОСТАВА НА ОБРАЗОВАНИЕ СТЕКЛА

Вулканическое стекло представляет собой продукт быстрого застывания лавы, изливающейся или выброшенной из того или иного вулканического аппарата.

Принципиально вулканическое стекло может иметь любой химический состав, который вообще свойствен магматическим горным породам, но особенности распространения вулканических стекол иные, нежели соответствующих им по составу горных пород. Среди базальтов, пользующихся наибольшим распространением, стекла встречаются редко, среди кислых — чаще; существуют даже ультраосновные (меймечитовые) стекла, но встречены они только в одном месте — в Маймеча-Котуйском районе, на севере Сибири.

Важнейшей особенностью лавы является ее вязкость, определяющая, с одной стороны, составом лавы, а с другой — ее температурой. В свою очередь от вязкости лавы зависит характер вулканического извержения, при котором изливается эта лава, форма самого вулканического аппарата и петрографический облик эффузивной породы, образующийся при застывании лавы; чем более вязкая лава, тем легче и чаще при ее остывании образуется вулканическое стекло.

Лавы базальтового состава, как правило, жидкоплавки; малую вязкость базальтовых лав и их низкую температуру плавления обуславливает большое содержание плавней. Для них весьма характерно общее высокое содержание железа, щелочных земель и даже щелочей. Содержание воды в базальтовых лавах невелико. Поэтому базальтовые лавы изливаются из кратера более или менее спокойно, давая мощные потоки, а иногда и крупные покровы, заливающие огромные площади и создающие громадные вулканические плато. Кристаллизуется базальтовая лава легко, давая даже в мелких потоках хорошо закристаллизованную базальтовую породу. В более мощных потоках и покровых лавах закристаллизованы полностью, давая своеобразные долеритовые породы. Стекла здесь нет совершенно, даже в составе основной массы.

Тем не менее базальтовые стекла существуют, но они образуются в тех местах, где базальтовая лава застывает очень быстро; это или пепловые выбросы, или шлаковые корки на лаве. Шлаковая корка образуется, впрочем, только на лавах определенной, достаточно малой вязко-

сти. Более вязкие лавы не дают шлака; поверхность таких лав «канатная» — образовавшаяся в результате перемещения и течения тестообразной лавы.

Кислые лавы, в отличие от основных, весьма вязки, в особенности на дневной поверхности, где лава теряет значительное количество летучих веществ. Как результат этого, кислая лава иногда не успевает закристаллизоваться и остается стекловидной во всей своей массе или в значительной ее части. Колебания состава кислой лавы резко сказываются на структуре стекла, его светопреломлении и на цвете. Липаритовые лавы, кристаллизуясь в интрателлурическую фазу, образуют кристаллы-вкрапленники кварца, а дацитовые — кристаллы плагиоклаза; наличие вкрапленников определяет многие технические возможности использования этих стекол. Стекловатые потоки в конце своего пути настолько вязки, что трескаются в процессе течения как поперек полос течения, так и вдоль них. При этом возникают дифференциальные подвижки вдоль полос течения, а в самом конце потоки могут переходить в накопление обсидиановых агломератных обломков.

Богатые щелочами трахитовые лавы, как правило, более жидкоплавы и хорошо кристаллизуются даже в тонких потоках.

### МОРФОЛОГИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ АППАРАТОВ И ТЕЛ

Ранее отмечалось, что основное стекло образуется в виде корки на поверхности потока или шлаков в процессе эксплозий. Образование шлаковой корки на поверхности еще жидкой текущей лавы наблюдалось неоднократно. На таких своеобразных «льдинах» был совершен описанный В. Ф. Попковым в 1938 г. «дрейф на лаве», которая в течение часа, пока исследователи измеряли температуру и брали выделяющиеся из нее газы, продвинулась на расстояние около 2 км. Температура поверхности текущей лавы в потоке за это время снизилась с 870 до 690° С.

Вторым типом накоплений базальтового шлака являются так называемые шлаковые конусы — небольшие вулканы, расположенные над самостоятельным вулканическим каналом или на поверхности лавовых потоков, в местах разгрузки этих последних от газовых компонентов лавы. Как правило, шлаковый конус формируется в период одного извержения и иногда сопровождается изливанием лавы.

В центре конуса может сохраняться центральный лавовый некк; могут существовать также боковые послонные дайки, секущие и цементирующие шлак. В окрестностях Еревана (на Канакерском плато) один из небольших шлаковых конусов, представлявший собой самостоятельный центральный вулкан, был полностью выработан для получения шлака как заполнителя бетона. В карьере в разное время удавалось наблюдать строение этого конуса, центральный некк и боковые жилы видны были достаточно хорошо. Равным образом видна была также слоистость шлака, созданная периодическим усилением взрывной деятельности вулкана.

Каждый шлаковый конус слагается отдельными слоями шлака, одевающими всю постройку конуса. В этих слоях наблюдается чередование более крупных шлаковых обломков и мелкого пепла. Слоистость отражает колебания интенсивности извержения. Некоторые шлаковые обломки падают на поверхность ранее выпавшего шлака еще горячими и спекаются, давая крупные блоки.

Лавовые потоки, дающие кислые обсидиановые стекла, иногда имеют достаточно большие размеры и могут протягиваться на десяток километров от центра изливания при мощности более 200—300 м. Естественно, что в таком крупном лавовом теле условия остывания лавы резко различны. Наиболее быстро остывают верхние части потока, более



медленно — нижние. Кроме того, верхние участки потока находятся под меньшим давлением; они иногда претерпевают вспучивание, давая пемзоподобные образования. После удаления летучей фазы лавы становятся еще более вязкими и поэтому гораздо труднее кристаллизуются, нежели участки, сохранившие этот летучий компонент в своем составе. Нижние горизонты лавового потока, напротив, застывают медленно, долго сохраняют летучие компоненты и как следствие этого хорошо кристаллизуются. Это различие ведет к возникновению зональности в кислых лавовых потоках. В низах потока, как правило, располагаются хорошо закристаллизованные липаритовые породы. Выше залегают сплошные вулканические стекла — обсидианы. Переход липарита в обсидиан идет через зону, где отдельные слои течения хорошо окристаллизованной лавы чередуются со «слоями» обсидиана. Над обсидианом на поверхности потока располагается природно вспученное стекло — пемзоподобная лава; геологи Армении называют такую лаву «литоидной пемзой». Термин этот хотя и не очень удачен, но может быть принят. Весьма характерно, что после вспучивания пемза затвердевала, но поток в целом еще продолжал двигаться. В результате пемзовая часть потока была раздроблена и превратилась в агломератные накопления, двигавшиеся вместе с потоком. В низах пемзовой зоны среди пемз еще остаются участки и «прослой» невспучившегося стекла; это стекло, передвигаясь вместе с пемзовым агломератом, дает в нем обломки обсидиана. К границе обсидиан — пемза приурочены и крайне интересные разности обсидиана с шелковистым блеском, создаваемым легчайшими флюидально вытянутыми газовыми включениями в стекле; такие обсидианы используются как очень эффектный поделочный материал.

Обсидиановые потоки — очень редкие образования. За рубежом нашей страны наиболее известным примером такого потока является поток Роча-Роса, излившегося из липаритового вулкана Монте-Пелато на о. Липари к северу от Сицилии. У нас в стране широкой популярностью пользуются обсидиановые потоки, спускающиеся с Гядисской группы вулканов к р. Занге (Раздан), и в районе вулкана Артени на Арагацской вулканической постройке.

Иногда в случае извержения относительно холодной очень вязкой лавы эта последняя не может образовать лавовый поток, а выпирает из кратера в форме обелиска или караваяобразного тела, которое расплывается по поверхности и дает экструзивный купол. Как и базальтовые извержения, извержения кислой лавы сопровождаются выбросами в воздух стекловатого материала. Пожалуй, даже количества выброшенного материала в этом случае больше, чем для извержений основного состава, и выбрасываются они на более далекие расстояния.

Классическим примером образования вулканического купола, наблюдавшегося исследователями, является известное извержение вулкана Мон-Пеле на о. Мартиника, происходившее в 1902 г. и хорошо описанное французским петрографом Лякруа. В результате извержения возникла «игла», которая достигла 300 м в высоту. После прекращения извержения она рассыпалась в мелкий щебень.

Более поздним и гораздо более грандиозным является подобное извержение, наблюдавшееся в нашей стране. В сентябре 1955 г. вулкан Безымянный в Ключевской группе вулканов на Камчатке, считавшийся ранее потухшим, начал интенсивно действовать, а через полгода, 30 марта 1956 г., на этом вулкане произошел грандиозный взрыв, в результате которого была сорвана вся вершина вулкана и выброшено огромное количество вулканического пепла, распространившегося по очень большой территории. На расстоянии 400 км от вулкана в этот день выпал слой вулканического пепла толщиной более 1 мм, а самые мелкие вулканические частицы, захваченные воздушными течениями, отмечены у

Северного Полюса и в Великобритании. После извержения в образовавшемся жерле начал медленно расти лавовый купол. К ноябрю этого же года он достиг высоты 300 м. Потом рост его несколько замедлился, однако он продолжается и до настоящего времени, т. е. уже более десяти лет.

Крайне интересным для нас является то, что купол этот все эти десять лет остается горячим и в некоторых трещинах по ночам еще и сейчас можно наблюдать свечение раскаленной лавы. Соприкасаясь с холодным воздухом, лава охлаждается, сокращается в объеме и отваливается от горячего массива. Быстро охлаждающиеся краевые части сохраняются стекловатыми. Стекловаты и все отвалившиеся обломки, благодаря которым под куполообразным массивом формируются накопления так называемой купольной брекчии. Краевые части вулканических куполов и залегающая под куполом купольная брекчия, а также брекчиевидные накопления обломков в краевых частях массива составляют важный объект промышленного использования.

Кислые лавы, как правило, содержат относительно большое количество воды, поэтому их извержение часто сопровождается интенсивной взрывной деятельностью, во время которой в воздух выбрасывается большое количество жидкой лавы. При таком выбросе происходит резкое снижение давления и выброшенный кусочек лавы либо вспучивается в пемзу, если воды в ней не очень много, либо, если она пересыщена водой, взрываясь, разлетается на мельчайший вулканический пепел.

При вспучивании кислых лав образуется пемза — шлакоподобная порода, содержащая очень большое количество мельчайших пузырьков. Присутствуют в пемзе и более крупные сантиметровые и многосантиметровые поры, но все они — результат слияния более мелких пузырьков, из-за чего стенки всегда неровные и с многочисленными тяжами, пересекающими всю пору. Толщина стенок в таких пемзовых обломках в пятьдесят — сто раз меньше толщины стенок базальтового шлака и измеряется сотыми долями миллиметра.

Подобно образованию шлаковых конусов возникают иногда «пемзовые конусы» или, правильнее, пемзовые вулканы, поскольку они обладают огромными размерами. Наиболее хорошо изученный пемзовый вулкан — уже упоминавшаяся гора Монте-Пелато на о. Липари в Италии; высота этого вулкана около 1000 м. Конус его, сложенный интенсивно эксплуатирующимися накоплениями пемзы, имеет хорошо выраженный кратер и, видимо, образовался в одно извержение, последним этапом которого было излияние обсидианового потока Роча-Роса.

В Советском Союзе отсутствуют пемзовые вулканические конуса и пемзовые вулканы. Вся известная в СССР пемза происходит из пемзовых слоев. Формируются такие слои в результате интенсивных выбросов пемзовых обломков, когда пемза разбрасывается равномерно на очень большие площади. Наиболее известны скопления такой пемзы в окрестностях горы Арагац в Армении.

Примером далекого разноса пемзы могут служить продукты извержения вулкана Пекту-Сан в Корее в районе Владивостока, описанные В. И. Финько.

Мелкие обломки пемзы и вулканический пепел распределяются на огромные пространства. Так, на границе меловых и третичных осадков в Туркмении (пос. Огланлы) имеется интенсивно эксплуатирующийся горизонт бентонитовых глин, образующих слои мощностью 10—12 м. Бентонит образован за счет изменения пепловых накоплений, залегающих среди нормальных известково-мергельных осадков. Поскольку среди синхронных образований не только в Туркмении, но и вообще в Средней Азии меловой вулканизм отсутствует, то предполагается, что источником вулканического пепла явились вулканы Кавказа.

Пепловые слои некоторых районов могут быть сложены хорошо вспучивающимся стекловатым материалом.

В районах, прилегающих к областям извержения, пемзовопепловый материал может выпадать на земную поверхность еще горячим и связываться простым свариванием. Такие сваренные туфы могут обладать очень интересными практическими свойствами: большой легкостью, гвоздимостью и легкой обрабатываемостью различными инструментами (пилой, топором, резцом и пр.). Особой известностью пользуются такие «пильные туфы» в Армении (Ленинакано-Ереванский туф), в Закарпатье и в других местах.

## ВТОРИЧНОЕ ИЗМЕНЕНИЕ СТЕКЛА

Вулканическое стекло после своего выпадения постоянно претерпевает диагенетические изменения. Первым этапом такого изменения является гидратация стекла — вторичное поглощение стеклом поверхностной влаги; при этом гидратированное стекло увеличивается в объеме и отслаивается от негидратированного стекла: в результате образуется характерная перлитовая структура и возникает так называемый мареканит, т. е. порода, распадающаяся на мелкие обсидиановые ядра и угловатую промежуточную массу гидратированного стекла. Вторым этапом близповерхностного изменения вулканического кислого стекла является переход его в монтомориллонитовую глину. При опускании кислого стекла вместе с вмещающими осадками в более глубокие части земной коры метаморфические изменения стекла заключаются в раскристаллизации его на микрофельзатовый агрегат кварца и полевого шпата. Столь же глубокое изменение базальтового стекла в зоне зеленокаменной фации метаморфизма ведет к образованию за счет стекла агрегата хлорита, роговой обманки с кварцем и полевым шпатом.

Легкость изменения стекла приводит к тому, что древние стекла, как правило, перерождены и почти нет надежды встретить свежие стекла среди вулканогенных пород древних толщ. Однако имеет место резкое различие в измененности стекла в древних вулканогенных породах, встречающихся в мощных осадочных толщах геосинклинального типа, и вулканогенных породах, возникающих на поверхности платформ и сохранившихся все время в близповерхностных условиях. В качестве примера можно указать на восточно-казахстанские вулканические образования, сохранившие в своем составе вулканическое стекло, хотя они излились на поверхность платформы весьма давно — в пермско-триасовое время. В противоположность этому на Кавказе и в Закавказье вулканическое стекло, образовавшееся на платформах в третичное время, после погружения оказалось полностью замещенным в зависимости от состава хлоритом, хлорофенитом и палагонитом или фельзитовым агрегатом кварца и полевого шпата.

## ПРОМЫШЛЕННО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ И ОСОБЕННОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Все рассмотренные выше разности кислых стекловидных образований имеют весьма большое практическое значение. Общая схема формирования существующих и разобранных выше стекловидных пород может быть представлена в следующем виде (см. таблицу).

Сказанным выше определяется география областей, в которых целесообразно вести поиски вулканических материалов того или иного типа. Это в первую очередь области развития современного и позднетретич-

## Обзор промышленно-генетических типов вулканических стекловатых пород

Генетический тип	Основные	Кислые
Лавовые излияния массивные лавы природно вспучившиеся и быстро охлажденные краевые части лавового потока	— Шлаковые края потоков	Обсидиановые (перлитовые) потоки Литоидные пемзы; туфолавы
Экструзии вязкой лавы	—	Обсидиановые (перлитовые) краевые зоны экструзивных куполов Обсидиановые (перлитовые) купольные брекчии Брекчиевидные накопления обсидиановых (перлитовых) обломков
Природно вспучившиеся лавовые выбросы	Шлаки шлаковых конусов Витрокластические туфы	Пемзы пемзовых вулканов Пемзы, связанные с куполами Пемзовые спекшиеся туфы Рыхлые пепловые накопления Пепловые туфы

ного-четвертичного вулканизма, в меньшей степени — область развития платформенного вулканизма, развивавшегося в самые последние этапы становления платформ.

Современный вулканизм, как известно, приурочен к островным дугам Тихого океана и к центральным частям Атлантического бассейна. Обе эти области океанического вулканизма объединяются крайне интересной, еще не вполне понятной широтной зоной континентального вулканизма, проходящей через Средиземноморский бассейн, Грецию, Болгарию, Карпаты, в том числе Советское Закарпатье, Малую Азию, Кавказ, Закавказье и Северный Иран. Отсюда вулканические проявления переходят в Монголию, Туву, Восточные Саяны, Северный Китай и Советское Приморье. Тихоокеанская полоса вулканизма попадает в пределы Советского Союза на Камчатке, Курильских островах, и в районе Приморья она сходится с разобранной только что широтной полосой. Атлантическая полоса своим северным концом заходит в Советский полярный бассейн, и с ней можно связывать вулканические проявления Арктических островов. Для остальных районов Советского Союза известен только древней вулканизм, где трудно рассчитывать на сохранение неизменных разновидностей стекол.

Помимо регионального распределения продуктов вулканизма, в качестве поискового признака кислых стекол можно рассматривать также и общее положение кислого вулканизма, обычно завершающего всю магматическую деятельность данного района и образующего относительно небольшие купола и отдельные центральные аппараты на поверхности более ранних, занимающих огромные площади излияний базальтовой лавы.

### ПРОМЫШЛЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕКОЛ

Попробуем теперь разобрать практическое значение всех упомянутых в таблице стекловидных пород. Шлаки краев потоков имеют относительно небольшое промышленное значение; они используются только как местный бутовый строительный материал. Совершенно по-иному следует подходить к оценке шлаков шлаковых конусов; большая прочность и относительная легкость этих шлаков обуславливают возможность их использования как заполнителя бетонов несущих конструкций и желе-

зобетонов, а также бетонов для гидротехнического строительства. Следует указать, что до сих пор шлаки не используются в должной мере в строительстве. Только некоторые шлаки Армении и Приморья (Иманский вулкан) разрабатываются в качестве местного строительного материала, хотя, по-видимому, их экономически выгодно перевозить и на довольно большие расстояния. До сих пор не проводилось широких поисков шлаковых конусов вне Армении и Приморья, хотя они должны существовать в Туве, Саянах и в Прибайкалье.

Витрокластические основные и средние туфы имеют относительно небольшое практическое значение; только в некоторых случаях сильно цеолитизированные и оглинившиеся их разности могут идти как относительно легкий стеновой пыльный материал. В пределах Союза такие туфы эксплуатируются в районе с. Гвиштиби в Грузии и в Вышковском районе в Закарпатье.

Значительно шире использование природных кислых стекловатых материалов. Обсидиан лавовых потоков, содержащий, как правило, небольшое количество воды, представляет собой прекрасный вспучивающийся материал. Только на основе обсидиана удается получить хороший гравийный легкий заполнитель.

Гидратированные разности обсидиана (перлит) представляют собой наиболее широко используемый вспученный наполнитель бетона. Промышленность теплоизоляционных материалов и штукатурных песков базируется главным образом на различных разновидностях перлита. Перлиты, образованные за счет стекла куполов и купольных брекчий, также широко используются в промышленности.

Следует отметить, что до последних лет мы резко отставали от западных стран в использовании перлита в сельском хозяйстве, где он может служить носителем инсектицидов и удобрений, а также накопителем влаги, улучшающим структуру почвы.

«Литоидные пемзы» (крупные фракции) представляют собой весьма ценный заполнитель бетона, а мелкие фракции могут использоваться как пуццоланические добавки к цементу. По сравнению с нормальной пемзой «литоидная пемза» обладает более высоким объемным весом, вторично гидратированные разности такой пемзы хорошо дополнительно вспучиваются при обжиге, давая высококачественные теплоизоляционные материалы («пористый перлит»).

Пемза пемзовых вулканов представляет собой практически наиболее важный тип накоплений этого полезного ископаемого. Пемза широко используется как природно вспученный заполнитель легкого бетона, как абразив и заполнитель штукатурки; некоторые разности пемзы используются как фильтровальный материал. В последнее время в строительной и химической промышленности природная пемза начала уступать свое место искусственным продуктам, получаемым на основе перлита.

В СССР нет пемзовых вулканов. Источником пемзы служат слоистые накопления пемзы, разрабатывающиеся в районах горы Арагац в Армении.

Пемзовые спекшиеся туфы дают наилучший пыльный строительный материал. Может использоваться такой туф и для вторичного вспучивания. В Союзе наибольший опыт использования туфов имеют строители Армении, возводящие все постройки городов и селений из этого замечательного, легко обрабатываемого материала.

Кислые пемзовые туфы, равно как и пепловые накопления, имеют относительно малое значение, хотя некоторые умеренно гидратированные разности пеплов прекрасно вспучиваются и дают ценнейшие штукатурный и фильтровальный материалы. Более сильно измененные (бентонитизированные) разности могут использоваться в качестве

адсорбента или фильтровального материала. Пепловые накопления и пепловые туфы иногда могут использоваться как добавки в цемент.

Несмотря на уже почти десятилетнее широкое использование стекловатых пород в качестве искусственно вспучивающихся материалов, этот вид сырья еще остается «новым» и его продолжают усиленно изучать. Все время выявляются новые, еще более ценные, чем ранее, качества этих материалов; выявляются и новые перспективные месторождения этих материалов.

Необходимы дальнейшие усилия как геологов, так и технологов в выявлении других месторождений новых типов сырья, а также разработка методов и путей наиболее рационального использования уже открытых материалов.

Институт геологии рудных месторождений, петрографии,  
минералогии и геохимии АН СССР

■

В. В. НАСЕДКИН

## **ХАРАКТЕРИСТИКА ЗОНАЛЬНОСТИ НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ КИСЛЫХ СТЕКЛООБРАЗНЫХ ПОРОД И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ФАКТОРЫ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЭТИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

Ранее неоднократно отмечалось, что вулканические тела, с которыми связаны стекловатые породы, имеют зональное строение. Зональность исследовалась нами на месторождениях перлитов Закарпатья (Ардовский, Мужиевский, Герцовский потоки), Забайкалья (Мухор-Талинское, Закультинское месторождения), Казахстана и Закавказья. В данной статье описываются зональные тела ряда вулканических комплексов Закавказья (вулкана Артени, экструзивы Кечалдаг, Гюмуш-Джраберский).

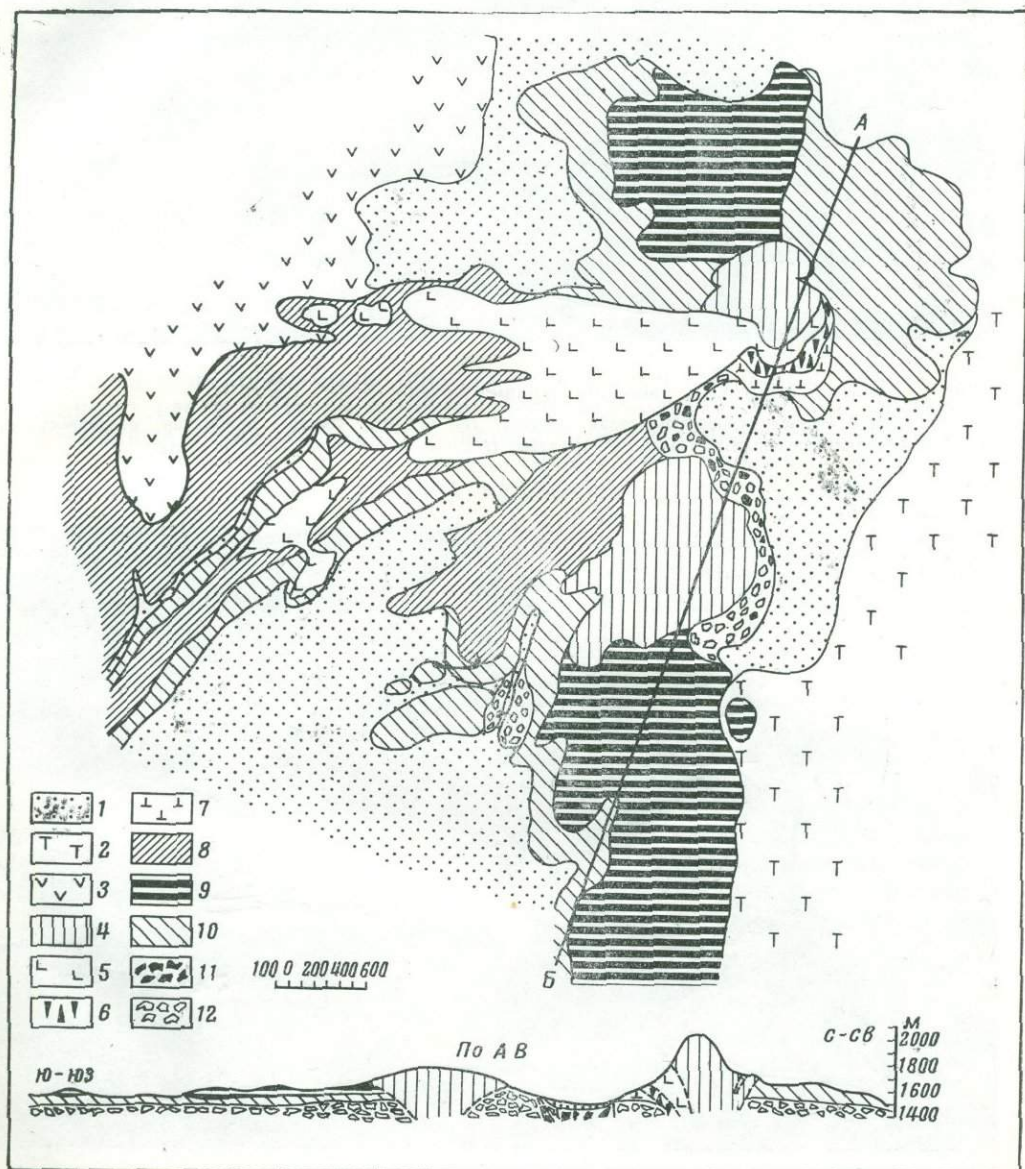
### **ЗОНАЛЬНЫЕ ПОТОКИ АРТЕНИ**

Вулканический комплекс Артени получил свое название по имени главной вершины небольшого горного массива, расположенного на юго-западном склоне горы Арагац (Западная Армения). Западная окраина Артени является крупнейшим в СССР месторождением перлита. Оно расположено в 90 км к западу от Еревана.

На геологической схеме (фиг. 1) отчетливо видно, что в строении комплекса принимают участие экструзивные и эффузивные образования. Экструзивы образуют две вершины массива. Северный экструзив (главная вершина Мец Артени) имеет форму некка. Он сложен спекшимися туфами, липаритами и стекловатыми лавобрекчиями. Южный экструзив (Покр Артени) морфологически напоминает несколько растекшийся купол. Экструзивы образовались в один из завершающих этапов формирования комплекса. Экструзивной деятельности предшествовали мощные эксплозии и излияния липаритовых лав. При остывании последних образовались потоки, веерообразно расходящиеся в северном,

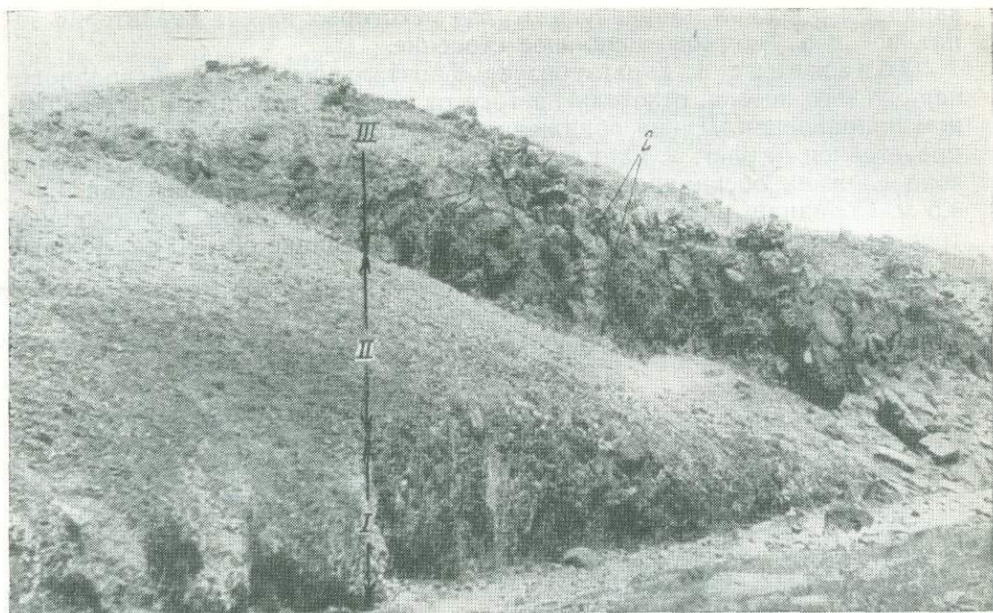
западном и южном направлениях. Для некоторых из них характерно зональное или участково-зональное строение.

Обнажение 1 характеризует фронтальную часть обсидианово-перлитового потока, ответвляющегося от главной вершины в юго-западном направлении. Длина обнажения 100—120 м. Общий вид обнажения представлен на фиг. 2. Оно состоит из трех зон (снизу вверх). Первая зона сложена обсидианом, образующим отвесные скалы высотой 4,2—4,5 м. Обсидиан разбит на столбчатые блоки системой вертикальных трещин. Отдельные столбы достигают в поперечнике 50—70 см, каждый



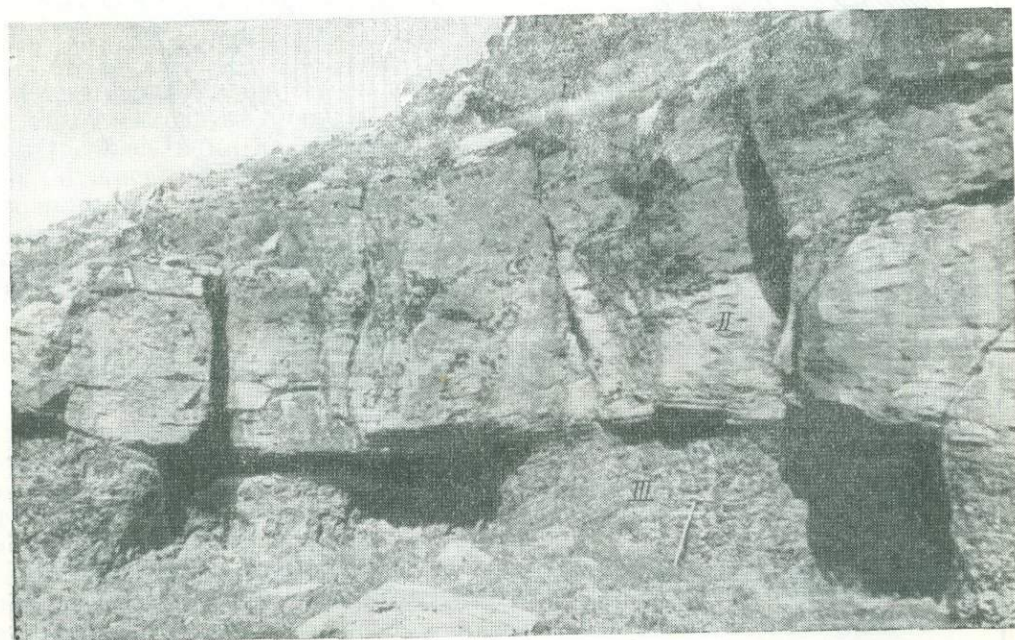
Фиг. 1. Схематическая геологическая карта вулканического комплекса Артени. Составил В. В. Наседкин

1 — элювиально-делювиальные отложения; 2 — арагацкий туф; 3 — андезито-дацит; 4 — липарит и лавобрекчия экструзивного типа; 5 — липарит; 6 — стекловатая лаво-брекчия; 7 — спекшийся туф; 8 — обсидиан, перлит; 9 — перлитовая брекчия; 10 — полосчатые потоки липарит-перлито-обсидианового состава; 11 — эруптивная брекчия; 12 — пемзовые отложения



Фиг. 2. Зональный поток на западной окраине Артени

*I*—обсидиан; *II*—обсидиано-перлитовая порода; *III*—перлит. Видна столбчатая отдельность в зонах обсидиана и перлита. Темные обособления (1, 2)—реликты обсидиана в перлите



Фиг. 3. Зональный поток. Залегает на пемзовых отложениях в устье каньона, западная окраина Артени

*I*—плотный перлит; *II*—перлит с липаритовыми участками лентовидной формы; *III*—полосчатая обсидиано-перлитовая порода. Темное — обсидиан, светлое — перлит



из них в свою очередь распадается на серию расположенных один над другим сфероидов диаметром 10—50 см. Сфероиды пересекаются тонкими трещинками, вдоль которых развивается перлит (Наседкин, Панеш, 1967). Вторая, обсидиано-перлитовая зона залегает над обсидианом. В нижней ее части преобладает обсидиан. Перлит развивается по трещинкам. Вверх по разрезу количество перлита возрастает. В верхней части второй зоны обсидиан имеет характер ядер, погруженных в перлитовую массу. Третья зона мощностью 35 м, сложенная перлитом, залегает в верхней части разреза. Так же, как и в нижней зоне, здесь наблюдается система вертикальных трещин, образующих столбчатую отдельность. В центральной части блоков сохранились реликты обсидиана в виде обособлений сферической формы. Размер обособлений 5—30 см. Последние в свою очередь разбиваются системой ветвящихся трещин на более мелкие реликтовые участки. Перлит, образующий верхнюю зону, имеет пористую текстуру.

Обнажение 2 (фиг. 3) расположено непосредственно на пемзовых отложениях устьевого части каньона (юго-западная часть комплекса). Оно характеризует фронтальную часть потока мощностью 5—10 м. Верхние 1,5 м сложены плотным плитчатым светло-серым перлитом. Ниже залегает массивный (мощность 3—4 м) перлит с включениями липарита. Указанная зона сменяется 1,5-метровой зоной обсидиан-перлитовой породы. Для нее характерно чередование линейных участков обсидиана и перлита. Слои обсидиана имеют четковидный характер. Мощность слоев 2—10 см и менее. Полосы перлита содержат мелкие лентовидные включения криптокристаллического липарита. Под микроскопом перлит обнаруживает отчетливое пористое строение.

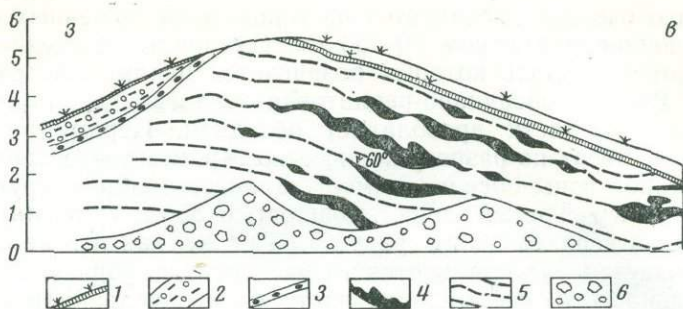
866  
Стекловатые потоки с простой зональностью (вверху перлит, внизу обсидиан), как правило, обладают большой мощностью (50—90 м). Они распространены к югу и юго-западу от вершины купола Покр Артени, а также к западу от вершины Мец Артени (фиг. 1). Полосчатые зональные потоки наиболее часто встречаются на востоке и северо-востоке массива, реже в его западной части.

### ГЮМУШ-ДЖРАБЕРСКИЙ ЗОНАЛЬНЫЙ КУПОЛ

Гюмуш-Джраберский экструзив расположен к западу от горы Кетандаг (Гутанасар), между ее южными склоном и долиной р. Занги. Занимаемая им площадь составляет 30—36 км<sup>2</sup>. Центральная часть экструзива, по всей вероятности, находится в районе с. Джрабер. Южная окраина экструзива имеет форму зонального потока (Петров, 1962; Наседкин, 1963). Кровля купола сложена пемзовидным перлитом на глубине, по мере уменьшения пористости сменяющимся плотным массивным обсидианом. Разрезы отдельных участков апикальной части экструзива можно видеть в старом и новом карьерах, расположенных к востоку и юго-востоку от с. Джрабер, а также в овраге непосредственно у северо-западной его окраины. Зарисовка северной стенки одного из названных карьеров показана на фиг. 4. Высота обнажения 10—15 м. Оно сложено светло-серым пористым перлитом, имеющим глыбовую отдельность. Характерно, что глыбы закономерно ориентированы относительно друг друга.

В светлой перлитовой массе отчетливо выделяются полосы темно-серого обсидиана; они расположены параллельно. Плоскости полос ориентированы под углом 60—75° к горизонту. Полосы имеют раздувы (1—1,2 м) и пережимы (0,01—0,2 м).





Фиг. 4. Ориентированное залегание обсидиановых линз в перлите (северная стенка карьера на восточной окраине с. Джарбер)

1—растительный слой; 2—переотложенная литоидная пемза; 3—шлак основного состава; 4—обсидиан; 5—полосчатый перлит; 6—отвал

Обсидиан темно-серый, тонкополосчатый. Полосчатость обусловлена слоистым распределением мельчайших газовых пузырьков. Наблюдается постепенный переход от слабопористого обсидиана к пемзовидному перлиту. Obsidian содержит 0,2—0,3% воды, перлит 3—4%. Таким образом, степень гидратации стекла зависит от его пористости.

#### ЗОНАЛЬНОСТЬ ЭКСТРУЗИВА КЕЧАЛДАГ

Гора Кечалдаг (фиг. 5) расположена в 7 км к юго-западу от пос. Исфису (Кельбаджарский район Азербайджанской ССР). Описание данного купола приведено в работах М. А. Кашкая и А. И. Мамедова (1956, 1961). Эти авторы рассматривают его как сложный полигенный экструзив. Они выделяют четыре этапа извержения, с которыми связано формирование купола.

В результате полевых наблюдений установлено, что Кечалдаг в плане представляет эллипсоидальное тело, большая ось которого дости-



Фиг. 5. Северный склон горы Кечалдаг. На переднем плане виден поток, отводящийся от вершины в северном направлении, А—Б—линия разреза

гает 2,5 км. В разрезе экструзив имеет зональное строение. Верхняя и нижняя зоны сложены стеклом, центральная — полосчатым сферолитовым липаритом. Переход от стекла к тонкополосчатому липариту осуществляется через промежуточную зону полустекловатой породы. Верхняя часть стекловатой зоны представлена пористым перлитом. Таким образом, для Кечалдага характерна примерно та же последовательность зон, которая описана для южной окраины Гюмуш-Джраберского экструзива (Петров, 1962). От вершины Кечалдага в северном направлении отходит поток длиной до 1 км. Мощность потока варьирует от 5 до 30 м. Разрез потока по АБ показан на фиг. 5. Нижние 5 м разреза сложены полустекловатой породой, в которой стекло составляет 30—50%. Кристаллическая фаза представлена сферолитовыми образованиями. Вверх по разрезу содержание стекла в породе постепенно уменьшается до 5—10%. Средняя (центральная) зона сложена полосчатым липаритом, содержащим реликты стекла. Мощность зоны 10—15 м. Далее липарит сменяется сферолитовой зоной мощностью 4—5 м. Верхняя часть потока (5 м) состоит из обсидиана с одиночными сферолитовыми агрегатами.

### ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОБРАЗОВАНИЯ ЗОНАЛЬНОСТИ

**Температура.** О температурной зональности свидетельствуют дифференцированные вулканические тела, в которых между отдельными зонами наблюдаются четкие границы, ориентированные параллельно поверхности рельефа. При этом, если поток залегаєт на относительно плоской поверхности, ориентировка линии контакта между зонами близка к горизонтальной (Мужиево, Закарпатье). При расположении тел на круто-наклонных склонах вулканических аппаратов плоскости раздела между зонами также обычно наклонены под соответствующими углами к горизонту (горы: Кечалдаг, Гядис; Закавказье). Четкие прямолинейные границы между зонами толщиной до 5—10 см и менее отчетливо свидетельствуют об образовании зональности после того, как поток прекратил движение. Наличие зон закалки, сложенных стеклом, говорит о решающем влиянии на формирование зональности перепада температур между относительно горячим центром тела и его быстро охлаждающейся поверхностью.

Перепад температур возникает в направлении, ориентировочно перпендикулярном охлаждающей поверхности. На основании детального исследования состава минеральных фаз можно предположить, что в центральных частях мощных потоков длительное время сохранялась температура около 600—800°, в то время как на поверхности она понижалась до 400—500°. Аналогичные зоны закалки возникают в апикальной части экструзивных куполов. Примером зонального тела, сформировавшегося в условиях температурного градиента, является описанный выше купол Кечалдаг.

**Давление.** Верхние периферические части экструзивных куполов обычно сложены высокопористым пемзовидным стеклом. Зоны пемзовидного стекла можно рассматривать как своеобразную шапку, венчающую купол. По мере погружения на глубину пористость стекла уменьшается и наблюдается переход в массивные плотные разновидности (Гюмуш-Джраберский экструзив).

Образование пемзовидного стекла происходит в результате резкого уменьшения внешнего давления, что, по-видимому, связано с экструзией расплава в зону, где внешнее давление близко к атмосферному. Так как на глубине под пористыми перлитами залегают обсидианы, содер-

жащие незначительное количество воды и других летучих, следует предположить, что вспучиванию стекла в верхней зоне купола способствовала дегазация его глубоких внутренних частей, т. е. имела место гидротермальная первичная гидратация стеклоподобного расплава в процессе становления экструзивного тела. Летучие, обособившиеся в газовый пузырек (зона пемзовидного стекла), впоследствии могли диффундировать из него в стекло при сравнительно низких температурах.

По-видимому, таков механизм образования зоны пористых перлитов в верхних частях вулканических потоков и экструзивных куполов. При этом, однако, следует учитывать, что в течение геологического времени стекло подвергалось также гидратации под действием поверхностных вод при атмосферном давлении.

Особенности распределения летучей фазы. Ритмичное чередование полос обсидиана и перлита в нижних частях потоков подтверждает предположение о струйчатом распределении летучей фазы в силикатном расплаве (зональные потоки Артени). Частичное вспучивание линейных участков стекла, обогащенного летучими, могло происходить на последних стадиях формирования потока. Резкое уменьшение внешнего давления, по-видимому, связано с возникновением глубоких трещин вертикального направления.

Вторичная гидратация. Первичная зональность, возникшая в вулканических телах под влиянием резкого перепада температуры и давления, во многих случаях завуалирована процессом вторичной гидратации стекла. Вторичная гидратация может происходить под влиянием гидротермальных и экзогенных вод (Наседкин, 1963).

В заключение следует отметить, что формирование месторождений перлита происходило при наличии градиента температур и давлений, т. е. в условиях термодинамически неравновесного процесса.

Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии  
АН СССР

Е. Ф. МАЛЕЕВ

## **ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КИСЛЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ И ПРИУРОЧЕННОСТЬ ИХ К ЭТАПАМ ВУЛКАНИЗМА**

### **РАЗНОВИДНОСТИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ**

Кислые вулканические стекла разделяются на три разновидности: обсидиан, перлит и пехштейн.

Обсидиан макроскопически черный, темно-серый, серый, коричневый, красный, иногда пятнистый; излом раковистый. Под микроскопом структура основной массы стекловатая. В стекле могут присутствовать различные кристаллы. В небольшом количестве (обычно до 10%) присутствуют порфиновые выделения кварца, полевого шпата или темноцветных минералов. Кроме того, очень распространены сферолиты. В закарпатских перлитах Герцовского месторождения внутри радиальнолу-

чистых сферолитов заключены порфиоровые выделения плагиоклаза или биотита. Обсидианы содержат примерно 0,5% воды, которая выделяется при температуре 800—1000°.

Перлит отличается от обсидиана наличием вторичной воды (в среднем 4—5%), выделяющейся при температуре 100—500 и 800—1000°. Последний тип воды обычно находится в небольшом количестве, около 0,5%, т. е. как у обсидиана. Таким образом, перлит имеет на термограмме две термические остановки выделения воды: перлитовую при температуре 200° и обсидиановую при 900°. Наличие вторичной воды обуславливает перлитовую текстуру, которая характеризуется образованием шариков размером 1—3 мм «луковичеобразного» строения, т. е. разбитых трещинами по сферическим плоскостям. Такая текстура обуславливает икрянистый излом породы.

Пехштейн назван смоляным камнем из-за характерного смоляного блеска. Цвет стекла обычно черный, но также может быть серый, оливково-зеленый и красный. В пехштейне присутствует вода до 10%, которая выделяется при температуре от 100 до 500°, на термограммах у него отсутствует обсидиановая остановка при температуре 900° (Кашкай, Мамедов, 1961; Наседкин, 1963).

В зависимости от количества воды в перлите и обсидиане изменяется показатель преломления. Как известно, в вулканических стеклах показатель преломления увеличивается по мере уменьшения содержания кремнезема. Уменьшение количества воды вызывает обратный эффект: показатель преломления вулканических стекол уменьшается. Показатель преломления в перлитах, по данным В. П. Петрова и В. В. Наседкина (1961), колеблется от 1,4957 до 1,5060. Показатель преломления обсидианов 1,482—1,486 (Ross a. Smith, 1955). В. П. Петров и В. В. Наседкин (1961) указывают, что вода, содержащаяся в обсидиане, оказывает в два раза более интенсивное влияние на светопреломление стекла, чем вода в перлите, причем вода как в обсидиане, так и в перлите химически связанная, но в первом случае она ювенильного происхождения, а во втором — входит в стекло в процессе гидратации обсидиана. Во многих месторождениях, где присутствуют перлит и обсидиан, наблюдались их взаимопереходы и промежуточные типы (Кашкай, Мамедов, 1961). Выделяются также стекловатые породы сложного обсидианово-перлитового типа. Такая порода состоит из ядер обсидиана, погруженных в перлитовую массу. Могут быть две перлитовые фазы с разным содержанием воды, но всегда в ядрах воды меньше, чем в окружающей перлитовой массе; например, в ядрах 2—4% воды, а в окружающей массе 4—6% (Наседкин, 1963). По химическому составу кислые вулканические стекла близки к липаритам и дацитам. В настоящее время опубликовано большое количество анализов перлитов и обсидианов из месторождений СССР и зарубежных.

### **ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕРЛИТА**

Месторождения перлита и обсидиана на геологической карте мира почти все попадают в альпийскую зону складчатости, и только отдельные месторождения располагаются в зоне герцинской складчатости. Это объясняется, вероятно, не более благоприятными условиями образования месторождений, а условиями сохранности их. В древних вулканогенных толщах вулканическое стекло раскристаллизовывается и теряет свою способность вспучиваться при температурах 1100—1200°.

Формирование кислых вулканических стекол происходит на определенном этапе развития геосинклинали. Вулканисты кислого состава про-

являются в той или иной мере в процессе развития всех видов вулканизма: геосинклинального, орогенного, платформенного, постконсолидационного и океанического. Однако образование кислых стекол происходит только в орогенную стадию развития геосинклинали. В период проявления вулканизма в ранний этап развития геосинклинали кислые эффузивы при подводных излияниях проявляются в небольшом количестве. Они, как правило, не дают крупных массивов кислых стекол, вследствие чего месторождений кислых стекол, связанных с геосинклинальным вулканизмом, не встречено и нет перспектив для их поисков. Вулканизм платформенного типа проявляется на платформах в период, когда осадочные породы, перекрывающие складчатый фундамент, полностью не литифицированы. В этом случае поднимающаяся к поверхности по разломам основная недифференцированная магма не находит в консолидированных породах фундамента полостей для дифференциации и, внедряясь в осадочный рыхлый плащ в виде штоков или силлов и других небольших, быстро остывающих тел, также не имеет возможности дифференцироваться. Достигая поверхности, магма, изливаясь в виде потоков или распыляясь в пирокластику, также дает недифференцированные продукты. Однако в заключительный этап этого цикла вулканизма проявляется небольшое количество продуктов с повышенной кислотностью и обычно со значительным количеством щелочей, но месторождений вулканических стекол при платформенном типе вулканизма не отмечено.

Вулканизм постконсолидационного типа развивается в условиях мощной консолидированной земной коры при отсутствии плаща нелитифицированных пород. Вследствие этого продукты вулканизма, поднимаясь по узким полостям в недифференцированном виде, формируются в наземных условиях. Незначительное количество вулканических продуктов с повышенной кислотностью все же образуется при этом типе вулканизма, но они не дают крупных скоплений кислых вулканических стекол.

При океаническом вулканизме, в условиях отсутствия сиалического слоя и малой мощности базальтового слоя, также нет условий для дифференциации магмы и к поверхности поднимается недифференцированный базальтовый расплав. Типичным примером проявления океанического вулканизма являются Гавайские острова, где шитовидные вулканы сложены в основном базальтами. Однако на о. Гаваи к северу от вулкана Хуалалаи, у туфовых конусов Пуу-Вааваа и Пуу-Анахулу отмечены трахитовые обсидианы (Washington, 1923), которые, однако, не образуют залежей достаточно крупных и пригодных для эксплуатации.

Месторождения кислых стекол формируются в орогенную или позднюю стадию развития геосинклинали в период резких дифференциальных движений в связи с подъемом складчатых сооружений и образованием межгорных впадин и прогибов. В этот этап развития геосинклинали земная кора не консолидирована, и в период резких дифференциальных движений на фоне общего поднятия региона создаются благоприятные условия для образования полостей, в которые внедряется магма и по пути к поверхности получает возможность дифференцироваться. В период проявления вулканизма орогенного типа создаются наиболее благоприятные условия для дифференциации основной подкоровой магмы. В этот период развития геосинклинали появляются благоприятные условия и для проявлений кислой магмы. Таким образом, появляются два типа кислого вулканизма — региональный и затем локальный. Вначале развивается региональный тип вулканизма, связанный с кислой магмой земной коры, дающий большое количество продуктов кислого состава, и затем локальный, обусловленный проявлением

## Особенности типов кислого вулканизма

Характерные черты	Региональный	Локальный
Количество продуктов извержений кислого состава (в пределах зоны глубоких разломов)	Тысячи и десятки тысяч кубических километров	Десятки, редко первые сотни кубических километров
Количественное отношение между продуктами извержений кислого и основного составов	Продукты основного состава отсутствуют или составляют первые проценты от общего количества кислых продуктов	Продукты основного состава преобладают 90%, иногда достигая 99% и более от общего количества вулканитов
Количественное отношение между породами плутонических и вулканических фаций	Плутонические фации близки по объемам вулканическим фациям	Плутонические фации составляют первые проценты или доли процента от объема вулканических фаций
Типы извержений, порождающие породы кислого состава	Катастрофические извержения, близкие к Катмайскому типу, но несравненно более грандиозные; сопровождаются кальдерами обрушения	Извержения Палейского и Плинианского типов, а также Катмайского (Безьянного) типа со взрывными кальдерами
Морфология вулканических тел	Мощные пирокластические потоки, сложенные пемзами и игнибритами	Агломератовые пирокластические потоки, сложенные грубообломочным слабопористым материалом
Приуроченность к геоструктурным зонам	В удалении от геосинклинальных трогов, в пределах средних массивов и по их обрамлению	Вблизи бортовых частей геосинклинальных трогов

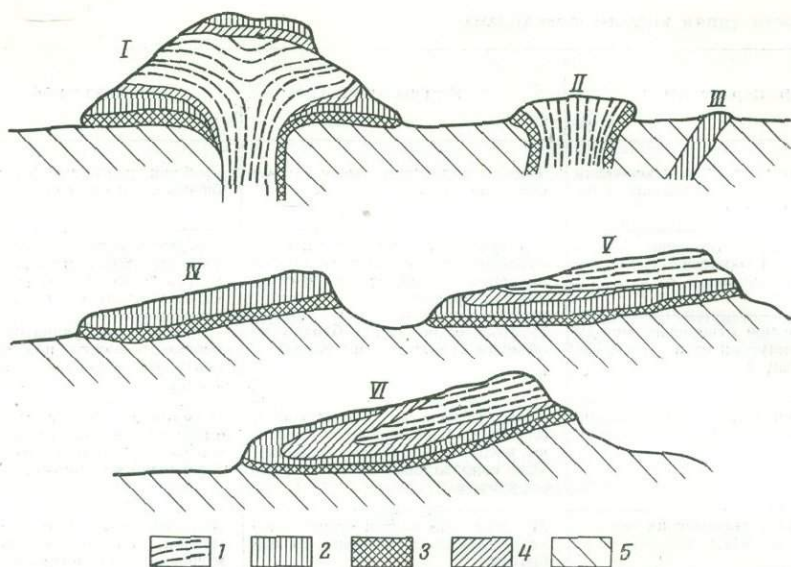
основной подкорковой магмы, производящей небольшое количество кислых дифференциатов. Особенности кислого вулканизма даны в таблице (Малеев, 1966). Промышленные месторождения перлита связаны как с тем, так и с другим типами вулканизма, однако проявления регионального кислого вулканизма дают более крупные тела кислых эффузивов и ведут к образованию крупных месторождений перлита.

Месторождения кислых вулканических стекол, связанные с разными типами вулканизма, характеризуются определенными петрохимическими и минералогическими особенностями. Кислые стекла, обусловленные проявлением регионального вулканизма, обладают более постоянным химическим составом. Порфиновые выделения в них ограничиваются кварцем и полевым шпатом при незначительной примеси биотита или роговой обманки, в то время как перлиты локального вулканизма обладают изменчивым химическим составом. Среди порфириновых выделений кроме перечисленных присутствует пироксен, а иногда и железистый оливин. Изменчивость состава и наличие темноцветных компонентов иногда отрицательно влияют на качество продукции.

Наиболее перспективны для поисков кислых стекол альпийские подвижные пояса в пределах проявления вулканизма орогенного типа. Особое внимание следует уделять областям развития кислого регионально-вулканизма.

### УСЛОВИЯ ЗАЛЕГАНИЯ КИСЛЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ

Обсидианы и перлиты представляют собой стекловатые разновидности липарита, связанные между собой постепенными переходами. Липариты образуют купола, дайки, штоки и лавовые потоки, в пределах которых вулканические стекла занимают отдельные части и редко слагают лавовый поток или дайку полностью. В приконтактных зонах вулканических тел образуются кластолавы и брекчиевые лавы.



Фиг. 1. Идеализированные схемы условий залегания кислых вулканических стекол

I— купол; II— шток; III— дайка; IV— простой лавовый поток; V— лавовый поток с перлитом в нижней части; VI— лавовый поток с перлитом в нижней и верхней частях; 1— липарит; 2— перлит; 3— брекчиевая лава и кластолава; 4— породы переходной зоны; 5— осадочные породы

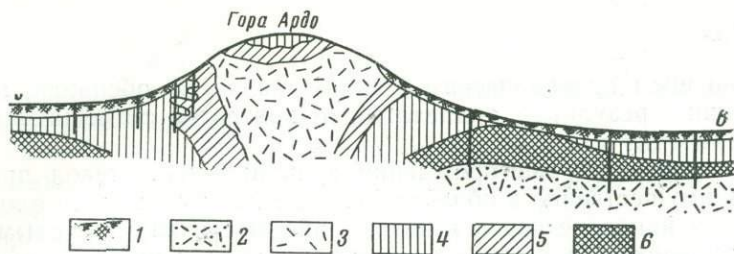
В пределах Закарпатья, Закавказья, Приморья, Камчатки и других областей кислые вулканические стекла входят в состав лавовых потоков, куполов и штоков. Во всех телах вулканические стекла слагают периферические или приконтактные части. В потоках — это верхние или нижние части их, в штоках — периферические и в куполах — апикальные или краевые. Маломощные дайки часто полностью сложены перлитом (фиг. 1).

**Лавовые потоки.** Потоки кислых вулканических стекол разделяются на три подтипа: 1) сплошные стекловатые, 2) стекловатые у подошвы и 3) стекловатые у подошвы и кровли. Мощность кислых стекол в сплошных лавовых потоках колеблется от 20 до 100 м и редко больше.

В сложных лавовых потоках, где только кровля или почва сложены стеклом, мощность обычно колеблется от 20 до 50 м. В нижней части лавовых потоков часто залегает перлитовая кластолава, состоящая из обломков перлита, сцементированных вторичной стекловатой лавой. Детальные исследования показали, что цементирующая обломки лава образовалась за счет вторичного перегрева тонкоизмельченных обломков стекловатой лавы, сплавления их в сплошную слабопористую массу светло-серого цвета. Таким образом, обломки черного перлита цементируются светло-серой вторичной лавой (Малеев, 1964). Описанная кластолава по мощности достигает 5—20 м и может быть также использована для получения вспученного перлита. Иногда в нижних частях потоков образуется брекчиевая лава, также состоящая из обломков перлита, но отличающаяся от кластолавы отсутствием цементирующей лавы. Между перлитом и липаритом обычно залегает промежуточная зона, представляющая собой своеобразную такситовую породу, состоящую из чередующихся полос стекловатого липарита (перлита) черного цвета и серого и коричневого фельзитового липарита. Толщина полос измеряется от миллиметров до метров.

**Купола** липарита с фациями стекловатых пород имеют сложное строение. Идеальный купол в разрезе имеет веерообразное строение, од-





Фиг. 2. Схематический разрез через купол горы Ардо, составленный по материалам В. И. Залесского и И. С. Солонинко

1—наносы; 2—туфы липаритов; 3—липарит; 4—перлит; 5—породы переходной зоны; 6—брекчиевая лава и кластолава

нако, как правило, обычно он асимметричен; иногда от купола отходят небольшие лавовые потоки. Такой наиболее типичный купол с отходящим лавовым потоком детально изучен в Закарпатье в связи с разведкой месторождения перлита (фиг. 2). В приконтактовых частях тела купола с вмещающими породами, так же как в нижних частях лавовых потоков, образуется кластолава, в которой обломки представлены перлитом. Иногда эта зона сложена брекчиевой лавой или рыхлой брекчией, состоящей из обломков перлита, с промежутками, выполненными рыхлой глиноподобной массой. Далее от контакта следует зона перлита мощностью, в зависимости от размеров купола, 10—50 м. У подводящего канала зона, сложенная перлитом, залегает почти вертикально. По мере приближения к периферии купола она выполаживается до 50—40°, а иногда приобретает почти горизонтальное положение или даже обратное падение. Следующая переходная зона, ближе к центру купола, сложена слоистой породой, состоящей из переслаивающихся прослоев перлита и липарита. Центральная часть купола сложена липаритом преимущественно фельзитовой структуры. Обычно липарит обладает флюидальностью и первичной трещиноватостью, по которым легко устанавливается веерообразное строение купола. Верхняя часть также часто бывает сложена перлитом. Апикальная его часть представлена брекчиевой лавой, в которой обломки перлита сварены в общую обломочную массу без цемента. Ниже залегает плотный перлит, который также через переходную зону сменяется липаритом.

**Штоки** представляют собой вертикальные трубообразные тела. Это могут быть подводящие каналы куполов с эродированной вершиной. В плане они круглые, эллипсоидальные или неправильные. Залегают горизонтально или имеют слабые наклоны. Периферия штоков сложена кластолавой или брекчией перлита, образуя, таким образом, «рубашку» штока. Мощность кластолавы обычно небольшая: 8—10 м; на глубине перлит переходит в фельзитовые разновидности, вследствие чего запасы перлита в таких месторождениях ограничены и условия добычи сложны.

**Дайки** кислых вулканических стекол — относительно маломощные тела, залегające вертикально или с большим углом наклона, имеют значительную протяженность. Они известны на юге Приморского края, в Хасанском районе. Мощность их 9—10 м. Известны дайки перлита небольшой мощности в Алма-Атинской области Казахстана (Наседкин, 1963). Дайки перлита мощностью 10—15 м развиты в Читинской, а также в Магаданской областях. По простиранию дайки прослеживаются на несколько сот метров и редко до 1 км. Запасы стекла в дайках по тем же причинам, что и в штоках, ограничены, и условия их разработки сложные.

## ВЫВОДЫ

1. Первичным вулканическим стеклом является обсидиан, который впоследствии в результате гидратации от контактов с вмещающими породами переходит в перлит.

2. Промышленные месторождения вулканических стекол приурочиваются преимущественно к областям проявления вулканизма орогенного типа, причем наиболее перспективные районы связаны с кислым региональным вулканизмом, обусловленным проявлением магмы земной коры, и в меньших размерах — с дифференциатами основной подкоровой магмы (локальный тип кислого вулканизма).

3. Условия залегания вулканических стекол ограничиваются четырьмя основными типами: дайки, штоки, купола и лавовые потоки. Иногда образуются сложные месторождения, где купола сочетаются с лавовыми потоками и сами лавовые потоки могут иметь различное строение.

Институт вулканологии СО АН СССР

К. Г. ШИРИНЯН

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ ПЕМЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АРМЕНИИ И ХАРАКТЕРИСТИКА ИХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ

Пемзы и шлаки широко применяются в практических целях. В связи с тем, что за последние годы возрос спрос на природные пористые вулканические продукты, а также некоторые водосодержащие разновидности кислых вулканических стекол, пригодных для искусственного получения пористых вспученных материалов, были значительно расширены поисковые работы, а также исследования по выявлению закономерностей образования и размещения промышленных типов вулканических стекол, пемз и шлаков.

Армения является основным поставщиком пемзы в Советском Союзе. Суммарные запасы пемзы здесь превышают 150 млн. м<sup>3</sup>. Благоприятные экономические условия эксплуатации на большинстве месторождений, а также высокое качество сырья обусловили широкое применение армянской пемзы не только в строительстве, но и во многих других областях промышленности.

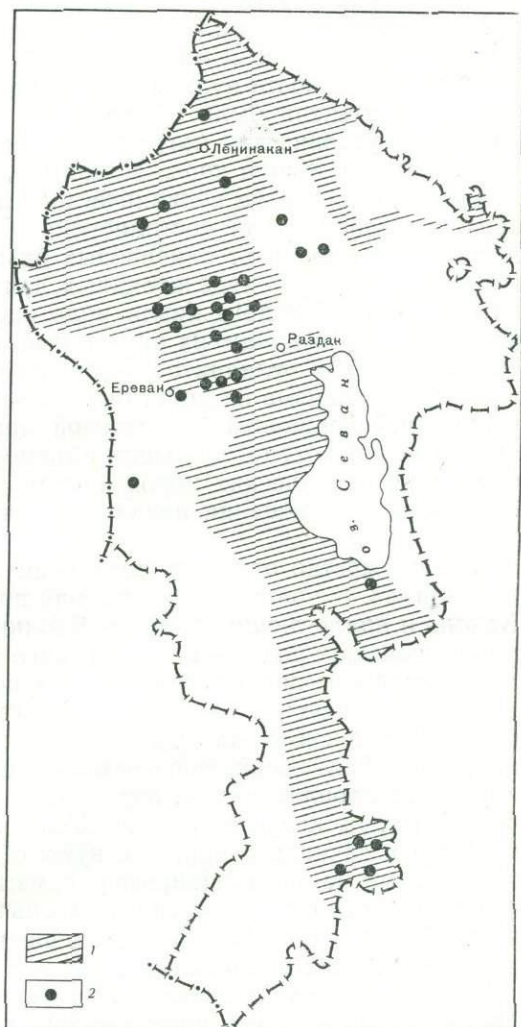
## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЛОКАЛИЗАЦИИ

На территории Армении интенсивные вулканические извержения наиболее бурно и продолжительно проявлялись в юре, в верхнем мелу, в палеогене и в плио-плейстоцене. Промышленные типы месторождений пемз связаны с плио-плейстоценовым вулканическим циклом, характеризующимся определенными тектоно-магматическими условиями. Для геосинклинального вулканизма (мезозой — конец палеогена) характерно резкое преобладание основных эффузивов над кислыми. Извержения кислого состава приурочены к концу вулканических циклов и связаны с инвер-

сиями региональных структур. В орогенном этапе тектонического развития (верхний олигоцен — конец четвертичного периода) кислые вулканы проявляются в больших масштабах и достигают наибольшего развития в позднеорогенную стадию вулканической активности. В отличие от раннеорогенного вулканизма, протекавшего в условиях, все еще преобладающих над поднятиями погружений, вулканизм позднеорогенной стадии происходил в наземных условиях и сопровождался дифференциальными сводообразными вздыманиями в центральной складчатой зоне Армении. Таким образом, устанавливается прямая связь извержений кислых лав с завершающими фазами тектоно-вулканических циклов.

Однако геологические условия, в которых протекает процесс пемзообразования, не ограничиваются вышеизложенными особенностями. На фиг. 1 видно, что почти все месторождения пемзы сосредоточены в западной части территории республики в пределах так называемой Арагацской вулканической области.

Пространственное распределение вулканических аппаратов в первую очередь зависит от особенностей локализации глубинных вулканических очагов на определенном этапе тектоно-вулканического цикла. Новейший плио-плейстоценовый вулканизм Армении в общем характеризуется ареальным типом, при котором, как еще в свое время указывал А. Н. Заварицкий (1945), вулканическая деятельность не сосредотачивается на долгое время в одном каком-нибудь пункте и не образуются крупные вулканические сооружения центрального типа. Характерными для ареального вулканизма являются также нестабильность магмоподводящих трещин, частая миграция центров извержений, малая глубина периферических (вторичных) магматических очагов. При ареальном вулканизме определенные структурные и механические условия земной коры обеспечивали прямую миграцию магматического расплава из первичного очага во вторичные, расположенные в пределах верхних структурных ярусов коры. Миграция сопровождалась расчленением первичного резервуара магмы на ряд сравнительно мелких межформационных и периферических камер. Ввиду изложенного, процессы ассими-



Фиг. 1. Размещение месторождений пемзы на территории Армении

1 — область плио-плейстоценового вулканизма;  
2 — месторождение пемзы

ляции и магматической дифференциации были крайне ограничены. Так как ареальный вулканизм был характерен для значительной части плио-плейстоценовой вулканической области Армении, то нетрудно объяснить отсутствие кислых пород на преобладающей части территории республики.

В пределах Арагацского нагорья глубинные этапы вулканических процессов были иными. Они сопровождались контаминацией магмы сиалическими породами и магматической дифференциацией глубинного вещества. Особенности вулканических проявлений в данной области в значительной степени были обусловлены длительностью вулканизма, что создавало условия для миграции магматического очага в верхние структурные ярусы земной коры. Например, полигенный вулкан Арагац, расположенный в центре вулканического нагорья, проявлял активность от верхнего плиоцена до постплиоцена. Состав вулканических продуктов Арагаца изменялся от оливиновых базальтов до двупироксеновых (авгит-гиперстеновых) андезитоидных дацитов, причем параллельно с развитием вулканического цикла роль кислых продуктов постепенно возрастала и к его концу их суммарный объем значительно превосходил объем основных вулканитов. Указанные выше соотношения основного и кислого вулканизма не могут быть объяснены только лишь одной дифференциацией первичной базальтовой магмы и, вероятно, являются следствием возникновения больших объемов кислых магм в результате проплавления сиалических пород кровли магматического бассейна при постепенном перемещении начального очага в более верхние горизонты земной коры.

Здесь уместно отметить появление гиперстеновых лав как признак гибридизма. К аналогичному выводу пришел Куно, изучая лавы вулкана Хаконе и прилегающих районов Японии (Куно, 1950). Так как гиперстеновые лавы за пределами Арагацского нагорья отсутствуют, то, по-видимому, процессы ассимиляции кислых пород основной магмой были предельно ограничены. Анализ петрохимических особенностей лавовых пород Арагацского нагорья свидетельствует о том, что постепенная миграция очага вверх, сопровождаемая обрушением кровли сиалической коры и ее проплавлением, определила условия возникновения синтектической магмы кислого состава. Условия залегания пемзовых пород в некоторых случаях свидетельствуют о возможной их связи с кислыми вторичными магмами. Например, пемзы средней части каньона р. Ахурян (западные отроги Арагацского нагорья), переслаивающиеся с оливиновыми базальтами. Примеры несмещения легких анатектических магм, залегающих или плавающих на тяжелых базальтовых магмах, известны в Исландии и других базальтовых плато. В этих районах эффузии и эксплозии базальтов без промежуточных серий переходили в эксплозии риолитовых пород.

В этом отношении интересны вулкан Гекла, а также экструзия риолитового купола в середине базальтового покрова у оз. Мивати в Исландии (Ритман, 1964).

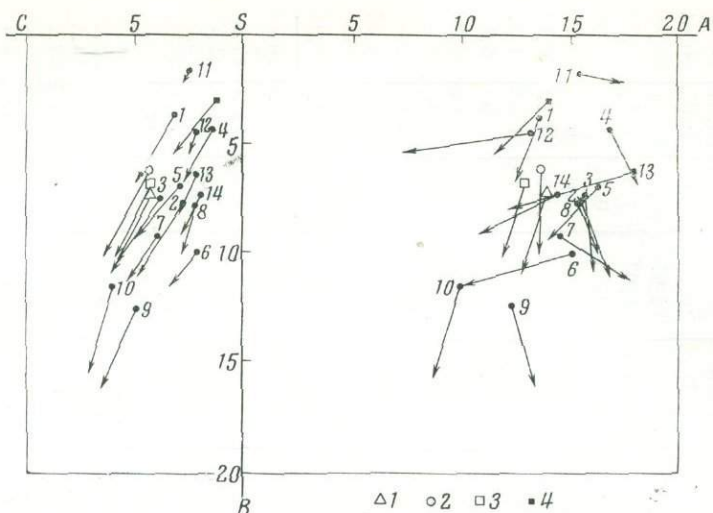
## ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Особенности химизма пемз Армении отображены на векторной диаграмме (фиг. 2), составленной по данным таблицы. Средний состав большинства пемз Армении дацитовый, однако некоторые разновидности характеризуются более высокой основностью или, наоборот, приближаются к риолитам. По сравнению со средними значениями дацитов, по Дэли, изученные пемзы характеризуются несколько повышенной щелочностью, причем натрий большей частью преобладает над калием.

Химический состав (в вес. %) и числовые характеристики по А. Н. Заварицкому пемз Армянской ССР

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO <sub>2</sub>	66,70	62,98	62,20	66,62	63,00	61,28	58,90	64,75	60,92	61,62	68,26	69,85	69,22	64,61	66,08
TiO <sub>2</sub>	0,48	0,96	0,65	0,73	0,69	0,88	0,57	0,58	0,65	0,70	0,37	0,29	0,09	0,65	0,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,61	15,38	16,88	14,54	16,96	17,77	15,38	14,64	16,36	16,90	14,71	14,97	15,77	15,31	15,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,75	2,21	3,37	2,49	3,56	3,06	3,58	5,22	3,38	2,16	1,61	1,03	1,46	2,12	1,72
FeO	1,54	2,08	1,64	0,43	0,44	0,51	0,87	0,58	3,88	4,04	—	0,46	0,44	1,33	1,86
MnO	0,06	0,07	0,07	0,16	0,05	0,08	0,05	0,06	0,11	0,05	Сл.	0,09	0,02	0,07	0,06
MgO	0,66	1,57	1,55	0,65	1,00	0,85	1,10	2,34	2,73	2,98	0,02	0,32	0,50	0,79	0,91
CaO	2,52	3,12	3,24	1,64	2,28	1,72	5,23	0,90	5,10	4,88	2,24	1,79	1,79	1,53	1,89
Na <sub>2</sub> O	3,69	4,34	4,22	4,76	3,86	3,68	3,59	5,46	3,86	3,13	4,02	3,62	3,64	3,99	5,55
K <sub>2</sub> O	3,31	3,92	4,08	4,07	5,00	4,50	3,84	2,24	2,48	1,99	4,08	3,63	3,36	3,48	3,82
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	5,17	0,64	—	2,97	—	4,57	—	—	0,26	—	—	—	0,10	4,83	—
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	2,60	0,24	—	1,00	1,04	0,72	0,55	—	0,24	—	—	—	0,92	—
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,06	—	—	0,26	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,57
SO <sub>3</sub>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,02	—	—	—	—
П.п.п.	0,41	—	2,12	0,30	2,41	—	6,48	2,38	0,32	1,02	4,24	3,88	3,30	—	0,13
Сумма	99,96	99,87	100,26	99,62	100,25	99,94	100,31	99,79	100,05	99,72	99,57	99,93	99,64	99,63	99,68
a	13,5	15,4	15,6	16,8	16,1	15,1	14,4	15,3	12,2	9,8	15,4	13,1	12,8	14,3	17,6
c	3,2	2,8	3,8	1,4	2,9	2,1	3,9	2,2	4,9	6,0	2,5	2,2	2,2	2,0	1,4
b	3,8	7,7	7,5	4,4	7,0	10,1	9,3	7,9	12,6	11,6	1,8	4,5	6,4	7,4	5,7
s	79,5	74,1	73,1	77,4	74,0	72,7	72,4	74,6	70,3	77,6	80,3	80,2	78,6	76,3	75,3
a'	11,3	—	—	—	22,0	53,1	—	—	—	11,5	—	60,0	60,0	38,1	—
j'	58,5	52,7	61,1	62,5	53,0	32,2	46,5	68,0	52,1	47,4	77,0	30,8	27,0	42,8	58,4
m'	30,2	34,5	35,2	25,0	25,0	14,7	21,7	23,0	37,0	41,1	3,8	9,2	73,0	19,1	26,2
c'	—	12,8	3,7	12,5	—	—	32,3	9,0	10,9	—	19,2	—	—	—	15,4
n	63,1	62,7	60,6	63,6	53,9	55,1	59,2	80,0	69,6	78,5	59,6	60,4	61,7	63,7	69,2
y	17,0	25,5	38,9	50,0	46,0	26,6	36,2	60,0	22,8	15,7	77,0	20,0	2,0	25,5	26,2
i	0,5	1,1	0,8	0,8	0,8	1,0	0,71	0,55	0,9	0,86	0,4	0,3	0,8	0,7	0,7
Q	28,8	14,6	11,2	19,8	12,9	13,1	12,1	16,4	11,3	19,6	27,3	32,0	39,4	22,0	14,0
a/c	4,2	5,5	4,1	12,0	5,5	7,2	3,7	7,0	2,5	6,2	6,0	5,8	1,6	7,1	12,5

1 — Ленцаканская равнина у с. Мусаелян, по Н. М. Михайлову; 2,3 — гора Шахкасар (Лебедев, 1931; Ширинян, 1956); 4 — у с. Пемзашен, по Н. М. Михайлову; 5—8 — район горы Иринд (Ширинян, 1956); 9,10 — гора Мусху (Ширинян, 1956); 11,12 — Ани-Пемза (Залесский, Петров, 1931); 13 — пемзовый туф, Ани-Пемза (Ширинян, 1961); 14 — с. Такя (Лебедев, 1931); 15 — в 500 м к юго-востоку от оз. Сев-Лич (Ширинян, 1962).



Фиг. 2. Петрохимические особенности пемзовых пород Армянской ССР

1—средний андезит-дацит Армении; 2—средний дацит Армении; 3—средний дацит, по Дзели; 4—средний липарит Армении

### ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Месторождения пемзы Армении представлены тремя генетическими типами: эксплозивным, агломератового потока и постэруптивного преобразования лавового потока. Эруптивные каналы могут быть как трещинного, так и центрального типа.

**Эксплозивные выбросы пемзы** обычно связаны с центральными жерловыми вулканами. Примером этого могут служить хорошо сохранившиеся вулканические центры Цахкасар, Иринд и Мусху. На вулкане Иринд пемзовый материал залегает не только по его склонам, но и образует пробку пемзово-дацитового аглютината в самом жерле. Мощность продуктов эксплозии достигает 100 м. Они обладают отчетливо выраженной слоистостью. Мощности отдельных слоев колеблются от 1,5 до 10 см. В каждом из слоев, снизу вверх, наблюдается постепенная смена крупных обломков мелкими. По гранулометрическому составу продукты эксплозивных выбросов представлены пеплами (обломки менее 0,1 мм), песками (0,1—2), гравием (2—10), лапиллями (10—30) и мелкими бесформенными вулканическими бомбами (30—100 мм). Поверхность последних имеет характерную структуру хлебной корки. В зависимости от характера рельефа подстилающих пород слои залегают горизонтально или наклонно. В качестве примера месторождений эксплозивного типа рассмотрим строение Цахкасарского месторождения, расположенного у одноименного верхнечетвертичного вулканического центра. Обломочный пемзовый материал слагает в основном северную половину вулканического конуса. В основании разреза преобладают крупные обломки (40—100 мм), а в верхней части — вулканический гравий (30%), песок (35%) и пепел (35%). Пемзовые выбросы перекрываются эффузиями андезит-дацитов.

**Агломератовые пемзовые потоки** слагают крупные промышленные залежи кусковой пемзы и образуются в процессе трещинных извержений. Агломератовый поток пемзового материала обычно состоит из крупных обломков (от 10—30 до 300 мм). Характерная для эксплозивных насыпных образований слоистость здесь отсутствует. В пемзе в виде реликтов

иногда наблюдается массивное стекло. Оно встречается в агломератовых потоках также в виде пластообразных тел мощностью 0,5 м и более. Об истинных площадях залегания агломератовых потоков пемзы судить трудно, так как значительная часть известных потоков покрыта последующими излияниями дацитовых лав.

Длина обнаженной части агломератового потока пемзы, расположенного у сел Пемзашен и Маралик, составляет 80—100 м. Большая протяженность характерна для агломератового потока в районе сел Ани-Пемза и Харкóв. Мощности агломератовых потоков в среднем 10—15 м.

Извержениям типа агломератовых потоков почти всегда предшествуют эксплозивные выбросы пемзы. Так, например, в одном из участков Ани-Пемзового месторождения в основании агломератового потока залегает 5—6-метровая пачка пород, состоящая из многих отчетливо разграниченных слоев вулканического песка, гравия, лапиллей и более крупных обломков пемзового материала. Местами обломки свариваются, образуя аглютинат. Залегающий непосредственно под эксплозивными выбросами агломератовый поток отличается хаотическим нагромождением глыб, бомб, лапиллей, вулканического гравия и песка. Месторождение интересно в том отношении, что кровля агломератового потока представлена спекшимися туфами, причем переход рыхлого пемзового материала в спекшийся пирокластический туф совершенно постепенный. Беспорядочное расположение обломков сохранено и в пемзовом туфе, однако крупных обломков там значительно меньше и количество их снизу вверх постепенно убывает, уступая место песчанопепловому материалу. Как в спекшемся туфе, так и в залегающей ниже рыхлой агломератовой части встречаются ксеногенные обломки более ранних лав и шлаков, захваченные потоком в процессе движения. Следует отметить, что при более чем 35 м мощности потока мощность туфовой покрывки составляет всего 5—6 м.

**Пемзы как продукты постэруптивного преобразования лавовых потоков** представлены единственным месторождением, залегающим в районе вулкана Берглю (к северо-востоку от сел. Верин Талин). Впервые о пемзах окрестностей с. Иринд, возникших путем «перерождения генетически с ней связанной пехштейновой лавы», указал П. И. Лебедев (1931). В дальнейшем наши исследования (Ширинян, 1963) подтвердили и дополнили представления П. И. Лебедева об этом уникальном месторождении пемзы.

Пемзовый материал образует нижнюю часть отдельных дацитовых потоков и связан с массивным стеклом через брекчиевидную структурную разновидность — гиалокластиты (Ширинян, 1963).

Изучение особенностей распределения воды в различных горизонтах лавового потока показывает, что в неизменной верхней части лавового потока первичное содержание воды составляет 0,5% и меньше, в средней части, т. е. в гиалокластитах, до 2%, а в нижележащих пемзах 5—6%. Очевидно, вода абсорбировалась нижней частью дацитового потока с поверхности подстилающих пород. Способность кислых расплавленных масс абсорбировать водяные пары и вспучиваться впервые экспериментально была доказана О. Т. Карапетяном (1932). Горансон показал, что поглощение воды расплавом значительно снижает его температуру плавления (Goganson, 1931). Стекло по мере поглощения воды при высоких температурах становится все более пластичным (Morey, 1914). Имея в виду вышеизложенное, нетрудно понять причину вспучивания нижней части дацитового потока и его грануляцию в средних зонах. ○

## КАЧЕСТВЕННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПЕМЗЫ РАЗЛИЧНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ ТИПОВ

При оценке качества пемзового сырья принимаются во внимание такие показатели, как цвет, размеры кусков, объемный вес, пористость, количество кристаллов в стекловатом базисе и т. д. Указанные свойства варьируют в определенных пределах и в значительной степени обусловлены различными генетическими условиями процессов пемзообразования. Обычно наиболее высокими качественными показателями обладают взрывные образования пемзы, представленные наиболее вспенившимися разновидностями магматических расплавов. Взрывным выбросам пемзы предшествует длительный покой в магматической камере, в продолжение которого создаются условия для кристаллизационной и гравитационной дифференциации.

В связи с этим пемзы взрывного типа могут быть бедны интра-теллурическими вкрапленниками. Наибольшее количество кристаллических включений присутствует в пемзах, образовавшихся в постэффузивную стадию изменения лавы.

Весьма важным генетическим признаком является окраска пемзы. Взрывная пемза обычно характеризуется белым или светло-кремовым цветом. Цвет пемзы в агломератовых потоках желтый, темно-желтый. В измененных лавах пемза имеет желтовато-коричневую или красновато-желтую окраску. Взрывная пемза главным образом мелко-обломочная, а в агломератовых потоках — крупнообломочная. Обломки белой взрывной пемзы округлой и несколько вытянутой, а обломки пемзы, связанной с потоками, — неправильной формы. Различны также формы и размеры пор. Пористость уменьшается пропорционально увеличению размера кусков, и поэтому объемный вес желтой пемзы всегда больше, чем белой, причем для первой разновидности характерны более крупные поры, чем для второй. Пемзы отличаются также по морфологии пор.

В белой взрывной пемзе поры имеют вытянутые, трубчатые, волькнистые формы, много также мелких, обычно замкнутых пор, разделенных тонкими перегородками стекла. Поры в желтых разновидностях пемзы представлены относительно крупными, ноздреватыми, ячеистыми и пузырчатыми пустотами.

В подтверждение вышеизложенного рассмотрим физико-механические особенности двух генетических типов пемз на примере Пемзашенского месторождения.

В данном месторождении известны два генетических типа пемзы. Взрывная пемза представлена белой тонкопористой пемзой с шелковистым блеском в свежем изломе. Для нее характерна высокая пористость и параллельно волокнистая текстура.

По имеющимся данным (Радопуло, 1966), удельный вес белой пемзы равен  $2,49 \text{ г/см}^3$ , объемный вес —  $0,35 \text{ г/см}^3$ , водопоглощение — 80,5%, эффективная пористость — 40,25%, истинная пористость — 89,5%. Пемза из агломератового потока характеризуется следующими данными: удельный вес —  $2,35 \text{ г/см}^3$ , объемный вес —  $0,49 \text{ г/см}^3$ , водопоглощение — 63,2%, эффективная пористость — 30,80%, истинная пористость — 49,15%.

В пределах агломератового потока Пемзашенского месторождения можно видеть силоподобные тонкие пласты смоляно-черной лавы. Последняя по краевым зонам ввиду частичного вспучивания переходит в темно-желтую или в оранжево-красную брекчированную пемзу. Брекчированная пемза характеризуется следующими показателями: удельный вес —  $2,36 \text{ г/см}^3$ , объемный вес —  $1,17 \text{ г/см}^3$ , водопоглощение — 26,5% кажущаяся пористость — 30,10%, истинная пористость — 50,42%.

Микроструктуры рассмотренных выше генетических типов пемз отображают различные стадии перехода лавовых частей в пенистую аморф-



ную массу. Разнообразие физических свойств пемз Армении обуславливают широкие возможности их применения. Армянские пемзы с одинаковым успехом применяются в качестве легкого заполнителя и гидравлической добавки в бетонах, для изготовления тепло- и звукоизоляционных изделий и смесей, в качестве абразивов и шлифовальных материалов во многих отраслях промышленности. Они пригодны также для изготовления стеклянных и фарфоровых изделий. В химической промышленности пемза употребляется как катализатор, а в резиновой — как наполнитель.

Институт геологических наук  
АН АрмССР

МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ;  
МЕТОДИКА ИХ РАЗВЕДКИ И ОПРОБОВАНИЯ

---

М. Б. ГРИГОРОВИЧ

**ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ МЕСТОРОЖДЕНИЙ  
ВСПУЧИВАЮЩИХСЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ  
И ДАЛЬНЕЙШИЕ ЗАДАЧИ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ**

Явление вспучивания кислого водосодержащего вулканического стекла впервые было описано в середине тридцатых годов в работах М. П. Воларовича (1937, 1944).

На возможность практического применения вспученных стекол в конце тридцатых годов указал академик П. П. Будников, но промышленное производство вспученного перлита было организовано в Советском Союзе значительно позже, уже в послевоенное время. Внимание широких кругов геологов к проблеме перлитов было впервые привлечено В. П. Петровым (1955).

Планомерные широкие геологоразведочные работы по изучению ресурсов перлитовых пород были организованы, начиная с 1956 г. Первоначально они были развернуты в Армении, где молодые излившиеся породы пользуются значительным распространением и где были выявлены практически неограниченные ресурсы вспучивающихся вулканических стекол. В последующие годы поисковые и разведочные работы на вулканические стекла были проведены организациями Министерства геологии СССР на Украине, в Грузии, Азербайджане, Казахстане, Таджикистане, в Восточной Сибири, на Дальнем Востоке и Камчатке.

В геологических работах активное участие принимал Отдел неметаллов ИГЕМ АН СССР (В. П. Петров, В. В. Наседкин) и Институт строительных материалов и изделий в Киеве (И. С. Солонинко). В итоге этих работ уже к 1960 г. были установлены основные районы распространения кислых вулканических стекол, обладающих способностью к вспучиванию, произведена оценка их перспектив и проведена разведка некоторых месторождений.

Наряду с геологоразведочными работами проводились и многосторонние технологические исследования перлитовых пород, осуществлявшиеся рядом научно-исследовательских институтов различных ведомств. Наиболее существенный вклад в дело изучения технологических свойств перлитов и разрешения практических вопросов промышленного их использования внесли С. П. Каменецкий и А. Н. Мерзляк («Теплопроект»), А. И. Полинковская (Всесоюзный научно-исследовательский институт строительных материалов) и А. В. Жуков, И. Я. Байвель (Институт строительных материалов и изделий в г. Киеве).

С целью подведения первых итогов геологоразведочных работ на перлит экспертной комиссией был подготовлен и выпущен в 1962 г. в Гос-

геолтехиздате сборник статей, сыгравший определенную роль в привлечении внимания геологов и технологов к вопросам изучения этого сырья. Несколько ранее Академией наук АзССР была опубликована большая сводная работа М. А. Кашкая и А. И. Мамедова (1961) по вспучивающимся вулканическим стеклам Азербайджана. В этой работе также приведены сведения о распространении перлитовых пород в Советском Союзе и за рубежом.

В результате проведенных работ было установлено, что наибольшей вспучиваемостью обладают сравнительно молодые вулканические стекла (мезо-кайнозойские), не подвергшиеся сколько-нибудь существенно процессам раскristаллизации. Как указывает В. П. Петров (1962), изменения вулканического стекла, приводящие к его кристаллизации, зависят от геологического времени или являются следствием процессов метаморфизма. Вследствие этого молодые вулканические стекла, как правило, сохраняют свое первоначальное строение. Более древние стекла всегда в большей или меньшей степени раскristаллизованы. Однако изменения сравнительно невелики в том случае, если они не были погребены под толщей более молодых образований.

Особенности вспучиваемости вулканических стекол в зависимости от их геологического возраста показаны в таблице, из которой видно, что соответственно с коэффициентом вспучивания изменяется и насыпной объемный вес обожженного перлита от 70—120 кг/м<sup>3</sup> для молодых стекол до 200—700 кг/м<sup>3</sup> для палеозойских.

К 1960 г. в стране было разведано и технологически изучено 9 месторождений перлита, расположенных в различных районах с общими запасами свыше 100 млн. м<sup>3</sup>. Таким образом, в короткий срок в Советском Союзе была создана сырьевая база перлитовой промышленности.

Зависимость технологических свойств стекол от геологического возраста

Возраст	Месторождение	Коэффициент вспучивания
Кайнозойский	Фонтанское и др., Армянская ССР	7—16
	Кечалдагское, Азербайджанская ССР	2,6—17,2
	Параванское, Грузинская ССР	2—17
	Пеликанское и др., Украинская ССР	4—18
Мезозойский	Закультинское, Читинская обл.	2—3
	Мухор-Талинское, Бурятская АССР	5—6
Палеозойский	Семейтаусское, Тургайское и др., Казахская ССР	2—6

Геологоразведочные работы на перлит продолжались и в последующие годы. К 1 января 1966 г. число изученных месторождений достигло 16 с суммарными запасами А+В+С<sub>1</sub> 204,1 млн. м<sup>3</sup>, в том числе по категориям А+В 126,9 млн. м<sup>3</sup>. Кроме того, на балансе запасов числится 251,9 млн. м<sup>3</sup> перлита, разведанного по категории С<sub>2</sub>.

Наибольшее количество перлита (77% всех запасов) и почти вся добыча (96%) сосредоточены в Закавказье. Особенно богата вулканическими стеклами (перлиты и обсидианы) Армения, где имеется четыре (Арагацское, Джраберское, Фонтанское и Фонтан-Джраберское) разведанных месторождения с общими запасами, превышающими 90 млн. м<sup>3</sup>. В настоящее время разрабатываются Арагацское и Джраберское месторождения. На первом из них, где добыча достигает 17—20 тыс. м<sup>3</sup> в год, строится завод по производству вспученного перлита. Мощность завода 240 тыс. т; некоторая часть добываемого на этом месторождении сырья

чет на экспорт (в 1965 г. — 15 тыс. м<sup>3</sup>). Перлит Джабраберского месторождения (литоидные пемзы) используется для производства бутылочного стекла, безобжигового пористого заполнителя легких бетонов. В 1965 г. было добыто свыше 500 тыс. м<sup>3</sup> литоидной пемзы. Месторождения Армении могут обеспечить потребность в этом материале промышленности не только Закавказья, но и прилегающих районов РСФСР, а также Средней Азии. Возможно также расширение производства перлита на экспорт. Кроме Армении на Кавказе кислые вулканические стекла имеются в Грузии и Азербайджане. В Грузии разведано Параванское месторождение перлитов, запасы которого определены в 60 млн. м<sup>3</sup>, что составляет около 29% общесоюзных запасов.

В Азербайджане разведаны Кечалдагское и Девегезюнское месторождения с запасами 4,6 млн. м<sup>3</sup>. Месторождения Грузии и Азербайджана не эксплуатируются главным образом из-за удаленности их от железной дороги. Следующим крупным районом широкого распространения молодых вулканических стекол является Закарпатье, где выделены три основных района развития перлитовых пород: Хребет Великий Шолес, бассейн р. Визницы и Береговское холмогорье.

Вулканические стекла представлены здесь главным образом перлитами. Наиболее крупными запасами обладают месторождения Ардавское и Пеликан. Разведанные запасы перлитов Украины составляют 34 млн. м<sup>3</sup> (или 16,7% союзных). Несмотря на большие запасы добыча перлита в последние годы ведется здесь в небольших объемах. По имеющимся сведениям, на базе месторождения Пеликан строится перлитовый завод с годовой производительностью в 150 тыс. м<sup>3</sup>. Месторождения перлита Украины могут снабжать сырьем не только стройки этой республики, но и Молдавию, Белоруссию, Прибалтийские республики, а также центральные и северные районы РСФСР, где месторождения перлитов отсутствуют.

Некоторые перспективы выявления перлитовых месторождений имеются на Тимане и Арктических островах, однако удаленность этих районов от крупных промышленных центров заставляет считать их объектами местного значения. Далее, к востоку крупные месторождения вулканических стекол известны в Бурятской АССР (Мухор-Талинская группа). Они имеют верхнемеловой возраст и приурочены к удинской вулканогенной толще. Здесь выявлен ряд участков собственно Мухор-Талинский, Мухор-Булыкский, Барун-Аршанский, Цаган-Хунтейский и др. Утвержденные запасы на этих месторождениях составляют 2,5 млн. м<sup>3</sup>, добыча в 1965 г. достигла 18, а в 1966 — 20 тыс. м<sup>3</sup> при проектной годовой мощности карьера в 100 тыс. м<sup>3</sup>. Проведенные в последние годы геологоразведочные работы позволили значительно расширить перспективы этого района, оцениваемые сейчас в 12—15 млн. м<sup>3</sup>. Этот район Восточной Сибири в настоящее время является наиболее обеспеченным перлитом. Видимо, ресурсы этого района и должны в ближайшее время стать базой перлитовой промышленности Сибири. В Читинской области вулканические стекла установлены в районе ст. Бада (Закультинское месторождение) и в Даурской зоне распространения эффузивных пород: в Агинском, Калганском и Нерчинском районах. Перлиты Закультинского месторождения имеют невысокое качество, хотя в самое последнее время как будто здесь удалось выявить более перспективные участки. В Магаданской области месторождения перлитовых пород обнаружены в верхнем течении р. Олы. Они приурочены к отложениям верхнего мела. Качество изученных образцов невысокое. Видимо, более перспективным сырьем являются выявленные в Магаданской области стекловатые вулканические пеплы. Предварительное изучение показало возможность применять их (после вспучивания) в энергетической промышленности и других областях техники.

В Еврейской автономной области в районе ст. Кимкан разведано месторождение перлита, связанное с эффузивами богучанской свиты верхнего мела. Запасы месторождения оценены в 700 тыс. м<sup>3</sup>.

Дальше к востоку месторождения перлитов, приуроченные к молодым эффузивам, известны в Приморском крае, где разведано два месторождения — Богопольское и Нежданковское с запасами около 1 млн. м<sup>3</sup>. Второе из них эксплуатируется. Добыча составляет 1 тыс. м<sup>3</sup> в год. В этом районе ведется строительство перлитовой установки. Перлиты выявлены также в Кавалеровском районе и в бассейне верхнего течения р. Сучан, где продолжаются поисково-разведочные работы.

В Камчатской области разведано Начикинское месторождение, сложенное также молодыми вулканическими стеклами. Запасы его оцениваются в 2,6 млн. м<sup>3</sup> (перлита и обсидиана).

В Казахстане в течение ряда лет производились работы по изучению особенностей вспучиваемости древних вулканических стекол. В результате этих работ выявлены и разведаны месторождения витрофиров (Семейтаусское, Архарлыкское и др.). Эти месторождения приурочены к палеозойским отложениям. Слагающие их перлитовые породы обладают невысоким коэффициентом вспучивания (2—6) и требуют высокой температуры при обжиге. Однако из них может быть получен вспученный материал, называемый витрозитом.

В Таджикистане разведано Ташкескенское месторождение обсидиано-перлитовых пород с запасами 1,2 млн. м<sup>3</sup>, приуроченное к мезозойским отложениям. Перлит месторождения обладает относительно высоким коэффициентом вспучивания.

Поисковые работы, проведенные на территории Узбекистана, пока не выявили месторождений сырья, пригодного для промышленного использования. В Киргизии установлено широкое развитие вулканических пород, применяемых для получения методом агломерации кампорита.

Дальнейшие геологоразведочные работы должны проводиться в перспективных, но малоизученных районах Дальнего Востока, Казахстана и Средней Азии, причем в сферу изучения следует включить не только вулканические стекла, но и вулканические пеплы типа магаданских. По-видимому, аналогичные пеплы недавно были обнаружены в Туркмении среди меловых отложений предгорий Копет-Дага. Следует также дополнительно исследовать молодые пепловые образования Кабардино-Балкарии.

Видимо, следует попытаться провести дополнительное тщательное изучение вулканических пород Казахстана с целью выделения среди них разновидностей, обладающих более высокими качественными показателями. Настало также время обобщить опыт поисков и разведки месторождений перлита и подготовить к печати сборник статей по этому вопросу.

Министерство геологии СССР

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КИСЛЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ АРМЯНСКОЙ ССР

Кислые вулканические стекла типа обсидиана, перлита и лигоидной пемзы благодаря их способности многократно увеличиваться в объеме при нагревании в последние годы нашли широкое применение во многих отраслях народного хозяйства.

Известно (Петров, 1962; Наседкин, 1963), что наибольшей вспучиваемостью обладают молодые, не претерпевшие метаморфизма вулканические стекла липаритового и дацитового составов. Вулканические стекла Армении вполне удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к перлитовому сырью. Запасы вспучивающихся вулканических стекол на 13 разведанных месторождениях по данным на конец 1966 г. составляют около 216 млн. м<sup>3</sup>, прогнозные запасы исчисляются примерно 15 млрд. м<sup>3</sup>. Перлиты Армении благодаря высокой вспучиваемости завоевали широкую популярность среди технологов и в настоящее время вывозятся во многие промышленные районы Союза, а также экспортируются в Италию. Поисково-разведочные работы на перлит производились при участии большой группы геологов Управления геологии при Совете Министров Армянской ССР: А. Т. Вегуни, К. М. Сагателяна, Б. В. Казаряна, П. Х. Канканяна, А. М. Торосяна и др.

В последние годы нами начато систематическое изучение липаритовых пород и, в частности, их стекловатых разновидностей. При этих исследованиях особое значение придается закономерностям распределения и геологическим условиям формирования месторождений различных генетических и промышленных типов стекол, а также их детальному геолого-петрографическому изучению.

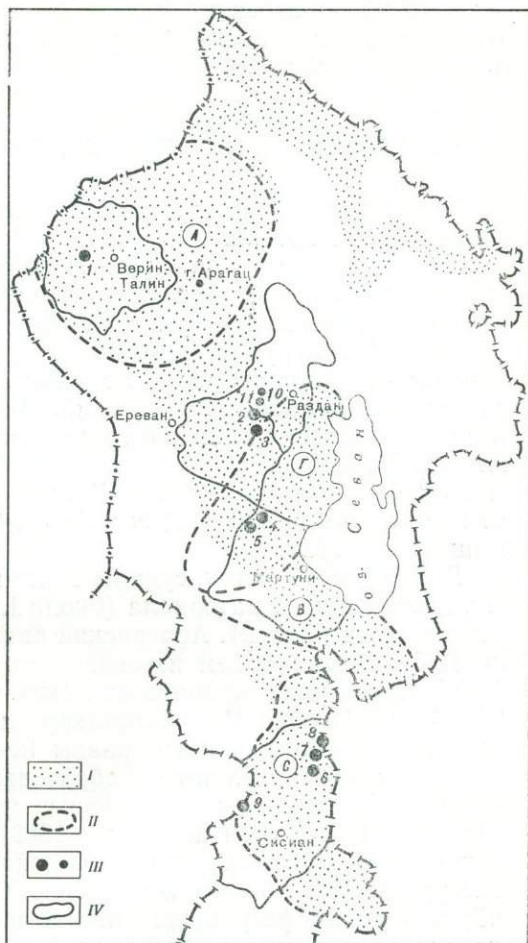
### ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗМЕЩЕНИЯ И ТИПЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Среди широко распространенных продуктов неоген-четвертичного вулканизма, представленных ассоциацией преимущественно основных и средних по составу лав, липарито-дацитовые породы занимают довольно ограниченное место. Большинство исследователей относят их к верхам мощной вулканогенно-обломочной толщи (представленной андезитами, трахиандезитами, трахилипаритами, покровными долеритовыми базальтами и т. д.), возраст которой К. Н. Паффенгольд (1938, 1959 и др.) рассматривает как олигоценовый, а большинство исследователей (А. А. Габриелян, А. Т. Асланян, А. Т. Вегуни и др.) как плиоценовый. В настоящее время указанная толща расчленена на ряд свит или горизонтов (Габриелян, 1964; Вегуни, 1966). В частности, нижняя часть этой толщи отнесена к олигоцену (Вегуни, 1956). Интересующие нас липаритовые породы, приуроченные к верхам толщи, относятся большинством исследователей к верхнему плиоцену. А. Т. Вегуни (1963, 1964) и В. М. Амарян (1964) датируют их нижним плиоценом.

Породы вулканогенно-обломочного комплекса занимают огромные пространства в пределах центральной части Закавказья от района Джавахкского вулканического нагорья на северо-западе до Сюника и Карабахского нагорья на юго-востоке. Ими сложены такие нагорья, как Арагацское, Гегамское, Варденисское, Сюникское и прилегающие к ним Джавахкское, Лорийское, Кармрашенское, Евгард-Канакерское и др.

Фиг. 1. Схема размещения плиоценовых куполовидных вулканов на территории Армении

I — районы распространения продуктов плио-плейстоценового вулканизма; II — вулcano-структурные зоны: А — Арагацская, Г — Гегамская, В — Варденисская, С — Сюникская; III — центры извержений липарит-липарито-дацитового состава (большие кружочки — главные центры, маленькие — второстепенные): 1 — Артени, 2 — Гутанасар, 3 — Атис, 4 — Спитакасар, 5 — Гехасар, 6 — Базенк, 7 — Мец Сатанакар, 8 — Покр Сатанакар, 9 — Барцраван, 10 — Алапарский выход; 11 — Фонтанский выход; IV — границы административных районов с районными центрами



(Габриелян, 1964 и др.). Перечисленные нагорья с мощными четвертичными лавовыми покровами обычно выделяются как структурно-морфологические (Нефедьева, 1950; Милановский, 1956; Бальян, 1962 и др.) или вулcano-структурные (Ширинян, 1962) зоны. В пределах этих зон липариты слагают довольно крупные, морфологически четко выраженные куполовидные вулканы Артени, Атис, Гутанасар, Спитакасар, Гехасар, Базенк, Мец Сатанакар, Покр Сатанакар, Барцраван и др. Территориально вулканы распределены

следующим образом (фиг. 1): Артени (с центрами Мец Артени и Покр Артени) — в Арагацской зоне (западная часть республики); Гутанасар, Атис, Спитакасар (Большой Аг-даг) и Гехасар (Малый Аг-даг) — в Гегамской (центральная часть); Базенк (Гузгунлу), Мец Сатанакар (Большой Деве-гезю), Покр Сатанакар (Малый Деве-гезю) и Барцраван — в Сюникской зоне (юго-восточная часть республики). Помимо перечисленных главных районов, кислые эффузивы встречаются также в ряде участков Варденисского нагорья, Цахкуняцкого и Зангезурского хребтов. Однако они пока слабо изучены и здесь не рассматриваются. Указанные вулcano-структурные зоны отличаются друг от друга как своим геологическим строением и особенностями развития, так масштабами и типами вулканических проявлений (Ширинян, 1962). Большинство из указанных вулканов представлено экструзивными куполами (Williams, 1932; Leyden, 1936) и характеризуется натечной и веерообразной структурами отдельных элементов (некки, потоки и т. д.).

На примере названных вулканов видно, что петрографически сходные породы могли образоваться в условиях эффузивного, экструзивного и эксплозивного процессов. Различные генетические условия обуславливают и разные формы залегания вулканических образований в виде куполов, даек, лавовых и агломератовых потоков, рыхлых накоплений и т. д.

Условия образования влияют не только на форму тела, структурно-текстурные особенности пород, но и на их физико-механические и технологические свойства<sup>1</sup>.

### ЭФФУЗИВНЫЙ ТИП МЕСТОРОЖДЕНИЙ

К эффузивному типу месторождений стекол относятся перлитовые и обсидиановые потоки.

Перлитовые потоки. Среди продуктов извержения большинства вулканов (Артени, Гутансар, Атис, Гехасар, Мец Сатанакар, Барцраван) особое место занимают агломератовые потоки. Они выделяются нами в особую группу промышленных месторождений. По составу и механизму образования все они сходны между собой. Среди них выделяются одиночные потоки (Арагацский, Мец Сатанакарский, Барцраванский) и сложные потоки типа плато-потоков или покровов (Гутансарский, Атисский). Длина отдельных потоков достигает 3—6 (Гехасарский, Атисский) и нередко 7—8 км (Гутансарский, Арагацский), а мощность — от нескольких до 100—180 м и более. Средняя мощность их обычно превышает 40—50 м.

Гутансарский поток, судя по занимаемой им площади (31 км<sup>2</sup>) и объему изверженного материала (около 1,5 км<sup>3</sup>), — наиболее крупный из перечисленных (фиг. 2). Арагацский поток занимает площадь, равную около 13,5—14 км<sup>2</sup>; объем изверженного материала несколько превышает 1 км<sup>3</sup>. Суммарная площадь атисских потоков равна 12—15 км<sup>2</sup>, объем 0,7—1 км<sup>3</sup>. Потоки Мец Сатанакар и Барцраван сравнительно мелки: площади их соответственно равны 12—15 км<sup>2</sup>, объем 0,3—0,7 км<sup>3</sup>.

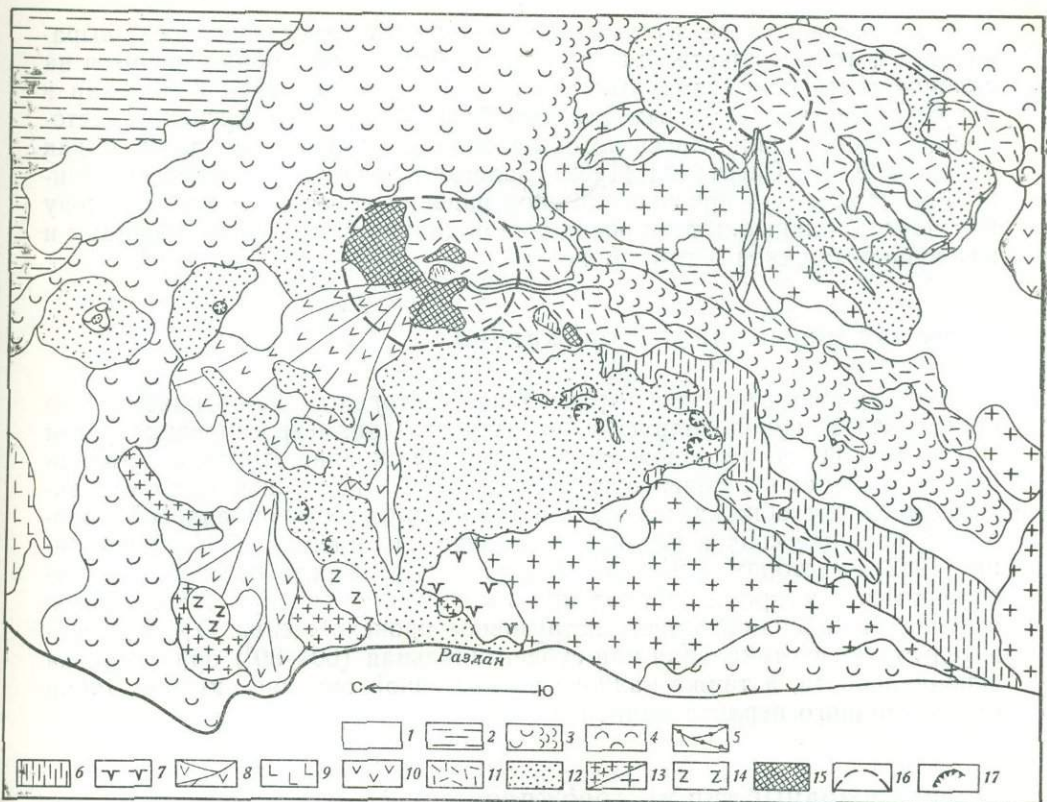
Относительно механизма образования описанных потоков, в частности Гутансарских, имеются разные мнения. По данным В. П. Петрова (1957, 1961) и В. В. Наседкина (1963), они представляют собой верхние вспученные горизонты мощного зонального стекловатого потока или экструзива. По нашему же мнению (Карапетян, 1964), эти продукты образовались в результате отложения агломератовых лавин. Указанные потоки по механизму образования напоминают пепловые и агломератовые потоки вулканов Мон-Пеле, Суфриер, Авача, Шивелуч, Безымянный и др. Имеющиеся представления о типах и механизмах извержения агломератовых и подобных им туфовых и пепловых образований основываются на работах Лакруа (Lacroix, 1904), Андерсона и Флетта (Anderson, Flett, 1903), Феннера (Fenner, 1923), Пийпа (1946), Горшкова (1957) и др.

При объяснении механизма образования описываемых потоков мы примыкаем к точке зрения тех исследователей, которые считают, что подобные обломочные породы образуются в результате отложений лавины, состоящей из высокоподвижной смеси обломков породы, газа и паров воды, которая переливается через края кратера или выбрасывается вверх, затем, попадая на склоны вулкана, перемещается на большие расстояния.

В карьерах (Арагацском, Гюмушском, Лусаванском, Джраберском), расположенных в разных частях описываемых потоков, хорошо видно беспорядочное скопление рыхлого обломочного материала; размеры обломков колеблются от долей миллиметра до 40—50 и иногда 80—150 см. По преобладанию грубообломочного материала потоки названы нами агломератовыми. Потоки сложены преимущественно перлитами, пемзой

<sup>1</sup> См. С. Г. Карапетян, В. Р. Израелян, Г. Г. Акопян. «Влияние генезиса кислых вулканических стекол на их структуру и технологические свойства» (в наст. сборнике).





Фиг. 2. Схематизированная геолого-петрографическая карта вулканов Гутанасар, Атис и их окрестностей. Составил. С. Г. Карапетян

1—аллювиально-делювиальные отложения; 2—7—андезито-базальты; 8—роговообманковые андезиты; 9—андезито-дациты, дациты; 10—андезито-базальты вулканов Гуанасар и Атис; 11—липарито-дациты, дациты; 12—липариты, обсидианы, перлиты и литоидные пемзы; 13—породы вулканогенно-обломочной толщи: а—андезито-базальты (долеритовые), б—андезиты, андезито-базальты, базальты и их брекчии; 14—липарит-липарито-дацитовые купола; 15—шлаки; 16—контуры куполовидных вулканических построек Гутанасар и Атис; 17—действующие карьеры

и в меньшей мере обсидианами. Какой-либо закономерности в распределении материала ни по простиранию, ни по мощности потока не наблюдается. Сколько-нибудь заметная сортировка материала в процессе доминирующего турбулентного движения лавины вряд ли возможна.

Образование перлита и пемзы происходит в момент извержения и последующего излияния газонасыщенной стекловатой массы из кратера или трещины. Этот процесс продолжается в ходе движения потока благодаря вспучиванию и локальным взрывам в кислой лаве (автоэксплозивный процесс Феннера; Fenner, 1923).

В пределах указанных потоков встречаются отдельные небольшие линзовидные тела или участки обсидиана и перлита, однако они не образуют непрерывного слоя, на основании чего можно было предполагать зональное строение потока. Образование агломератовых потоков обычно связывают с трещинами (площадное распространение пород) или с кратерами.

Рассмотренные потоки, по-видимому, образовались в процессе кратерного извержения типа Суфриера (Сан-Винсент), Асамы, Авачи и т. п. В некоторых случаях, однако, можно заметить признаки, указывающие на трещинный тип извержения (Гутансарский поток).

Обсидиановые потоки. К этому типу относятся четко выраженные потоки и пластообразные тела обсидианов, обнажающиеся на склонах горы Атис, западных склонах гор Гехасар, Мец Сатанакар и в других местах. К южным склонам Атис приурочено Акунское месторождение обсидиана. Здесь потоки обсидиана мощностью до 52 м, как отмечает К. М. Сагателян (1962), залегают среди перлитов. Для обсидианов характерно противоположное падение по отношению к склону местности. Мощные потоки обсидиана обнажаются также на западных и юго-западных склонах горы Атис.

### ЭКСТРУЗИВНЫЙ ТИП МЕСТОРОЖДЕНИЙ

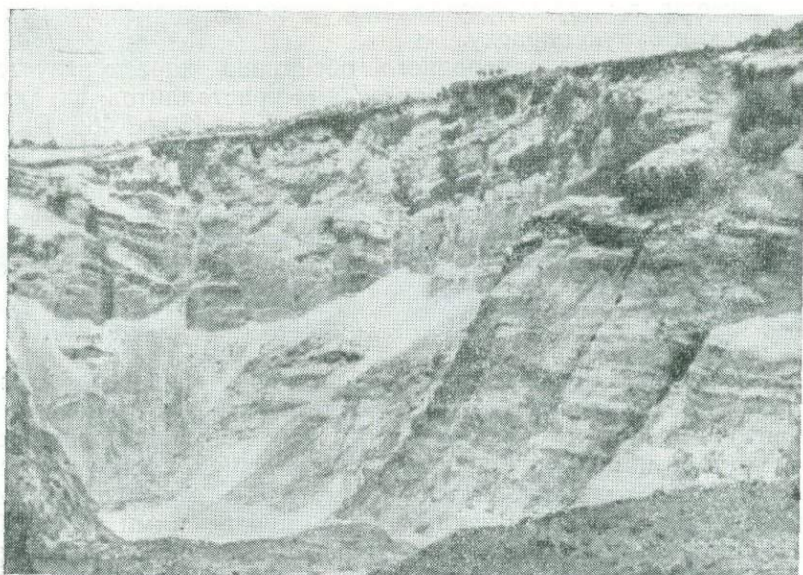
К этому типу относится Артенийское месторождение обсидиана. Оно представляет куполовидную возвышенность (диаметр основания равен 700, высота 60 м), расположенную на южной окраине отрога, ответвляющегося к югу от вершины горы Покр Артени. В основании конуса на западном склоне обнажается выступ серовато-фиолетовой лавовой породы, на вершине конуса перлиты и брекчии. По мнению К. М. Сагателяна (1962), месторождение представлено линзообразным телом, погружающимся в северном направлении в мощную перлитовую толщу. Автор считает, что обсидиан имеет экструзивное происхождение. Об этом свидетельствует вертикальная или субвертикальная (60—80°) ориентировка флюиальности, а также наличие на восточной окраине купола дайки брекчиевидного перлита длиной 25—30 м и мощностью 1 м.

### ЭКСПЛОЗИВНЫЙ ТИП МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Пирокластические продукты участвуют в строении двух вулканов — Артени и Атис. Пирокласты Артени образуют Артенийское месторождение так называемых перлитовых песков. Рыхлые обломочные породы обнажаются в основании северных, восточных и южных склонов обеих вершин Артени, ими сложена седловина между вершинами и цепь возвышенностей, расположенных севернее горы Артени. Указанные породы еще издали выделяются своим белесоватым цветом и сглаженными формами рельефа. Пирокласты имеют слоистое строение (фиг. 3). Местами слоистость отсутствует и обнажение оставляет впечатление хаотического нагромождения разнородного материала. В массе обломков присутствуют вулканический пепел (0,01—2 мм), гравий (2—10 мм), лапилли (0—30 мм) и редко бомбы и глыбы. Преобладают гравий и лапилли. Пепловый материал образует отдельные прослои (1—3 см) между слоями более крупного материала. Мощность отдельных слоев колеблется от 3—5 до 80 см. Местами заметна сортировка материала по крупности: в нижней части слоя преобладают крупные обломки, в верхней — мелкие. О соотношении между обломками разных размеров в пределах одного слоя и по разрезу можно судить по таблице.

Около 80—90% всех обломков представлены перлитом и пемзой, остальные 10—20% — обсидианом и липаритом. Форма обломков округлая. Пемзы имеют ячеистую и волокнистую текстуру.

Характер сортировки материала, слоистость, наличие частичного спекания обломков пемзовидных разновидностей и другие признаки не оставляют сомнения в взрывном генезисе этих образований (Карапетян, 1964). Некоторые геологи (Карапетян, Богданян, 1963 г.) считают, что скопления обломочного материала образовались в результате деформации вулканических продуктов Артени. Более поздние исследования



Фиг. 3. Карьер в толще пирокластических отложений вулкана Артеми (участок Брусок)

подтвердили точку зрения об их эксплозивном происхождении (Мудурян, Оганян, 1963 г.).

Рыхлые пирокласты обнажаются также на северных склонах вулкана Атис. Видимая мощность песков равна 10—12 м. В разрезах видна хорошая слоистость материала, местами нарушенная, как и на Артеми, микросбросами, образовавшимися, по-видимому, в результате содроганий вулкана в период сильных извержений. На основании анализа вещественного состава материала и результатов лабораторных исследований можно предположить, что пирокластические породы горы Атис могут быть использованы в стекольной промышленности.

#### Гранулометрический состав (в мм) пирокластических отложений в районе Артеми

№ горизонта (сверху вниз)	Пепел		Гравий, 2—10	Лапилли, 10—30	Вулканический агломерат			
	пыль, 0,01—0,1	песок, 0,1—2			мелкий, 30—100	средний, 100—150	крупный, 150—200	глыба, >200
1	—	27	60	10	3	—	—	—
2	5	15	60	20	—	—	—	—
3	15	15	30	35	5	—	—	Отдельные обломки
4	10	5	35	40	5	5	—	То же
5	7	10	20	60	3	—	—	—

#### СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНЫЕ РАЗНОВИДНОСТИ ПОРОД

В строении рассмотренных вулканических комплексов участвуют липариты, обсидианы, перлиты, литоидные пемзы, туфы и брекчии. С практической точки зрения наибольшую ценность представляют обсидианы, перлиты и литоидные пемзы.

**Обсидианы.** По структурно-текстурным признакам среди обсидианов выделяются однородные, полосчатые и брекчиевидные разновидности

сти, связанные друг с другом переходами. Однородные обсидианы имеют черную, серую и бурую окраску.

Черная разновидность однородного обсидиана характеризуется наличием небольшого количества пироксеновых кристаллитов; вкрапленники редки (плаггиоклаз, кварц, редко биотит),  $N=1,480\div 1,486$ . Разности, лишенные кристаллических включений, просвечивают даже в толстых пластинках. Хорошо выраженные потоки черного обсидиана обнажаются на склонах горы Атис (Акункское месторождение, Гехасар, Мец Сатанакар, Базенк). Ими сложены также небольшие купола (Артенийское месторождение) и дайкообразные тела (северный отрог горы Атис, окрестности с. Джрабер). Очень часто обсидиан залегает в краевых частях экструзий (Артени), кровле и подошве липаритовых и перлитовых тел (Атис, Гехасар, Артени и др.).

Серые обсидианы представляют собой сравнительно пористые, несколько обогащенные водой стекла ( $N=1,486\div 1,490$ ). Обычно они образуют переходные зоны от обсидиана к перлиту. Обычный шелковистый или перламутровый отлив их обусловлен отражением света от поверхности многочисленных мелких, сильно вытянутых по флюиальности прозрачных стеклянных нитей и заключенных между ними пор (0,02—0,05 мм). Относительно большие скопления их встречаются на северных склонах горы Гехасар, у с. Джрабер, в оврагах севернее с. Фонтан и в других местах.

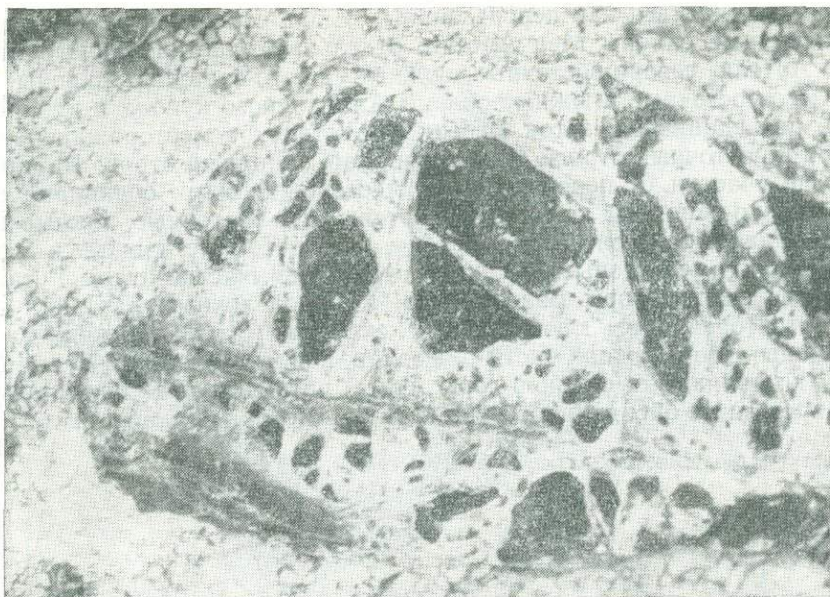
Под микроскопом бурые обсидианы представлены стеклом ( $N=1484\div 1486$ ), насыщенным тончайшими пленками гидроокислов железа. Бурые стекла в отличие от черных несколько двупреломляют.

Полосчатые обсидианы составляют довольно распространенную разновидность обсидианов. Полосчатость их обусловлена чередованием: а) аморфного и слабо раскристаллизованного стекла; б) массивного и пористого; в) черного и бурого. Обычно эти разности связаны между собой постепенными переходами. К группе полосчатых обсидианов относятся разновидности из вулкана Гехасар, обладающие декоративными свойствами. Полосчатость этих пород обусловлена чередованием белых эмалевидных, слабо фиолетовых, черных и бурых участков.

Брекчиевидные обсидианы имеют сравнительно ограниченное распространение. Относительно большие скопления их имеются в овраге Ашризор (у с. Джрабер), на левом берегу р. Раздан, на участке между с. Нурнус и ГюмушГЭС, на западных склонах Гехасар, Артени и в ряде других мест. Эти обсидианы представляют собой обычное брекчированное стекло, состоящее из обломков и цемента. В подавляющем большинстве случаев роль цементирующей массы играет бурое стекло.

Перлиты, как известно, тесно связаны с обсидианами. Для большинства перлитов армянских месторождений характерно совместное нахождение их с обсидианами в виде так называемых перлит-обсидиановых пар. Образование перлитов происходило в самых разных генетических условиях: эффузивных, эксплозивных и экструзивных. Большая их часть образовалась при извержениях типа агломератовых потоков. Значительно реже они слагают нежки и трещинные выжимки, еще реже эффузивные потоки (Артени, Гехасар). В отличие от основной массы перлитов, которые образуются в стадию экструзии вязкой горячей магмы, встречаются также перлиты, образующиеся в отдельных участках пород после ее остывания под воздействием атмосферных и грунтовых вод (Ross, Smith, 1955; Наседкин, Петров, 1962). В процессе гидратации эти стекла растрескиваются на мельчайшие остроугольные обломки (фиг. 4). Они представляют собой гидратизированные стекла, и условно их можно назвать вторичными перлитами.

Литоидные пемзы представляют более вспученные легкие разности перлитов и образуются почти в тех же генетических условиях, что



Фиг. 4. Гидратизированное стекло (светлое) с реликтами черного обсидианового стекла. Натур. вел.

и перлиты. От типичных чисто эксплозивных (Анийских) пемз они отличаются более кислым химическим составом, а также более плотной основной массой, благодаря которой они и были названы литоидными пемзами (Абих, 1899; Данненберг, 1904). В зависимости от условий образования и залегания среди пемз выделяются различия со струйчато-волокнистой и пенисто-губчатой текстурами. Первые образуются на поверхности стекловатых, лаьовых и агломератовых потоков, вторые — при эксплозивных извержениях (Артени, Атис). Цвет пемз — белесоватый, светло-серый, желтоватый. Количество пор в отдельных образцах достигает до 55—60%. Показатель преломления стекла 1,490—1,500.

#### ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Рассмотренные месторождения перлита сконцентрированы в Западной (Талинский, административный район), центральной (Абовянский, Разданский, Мартунинский районы) и в юго-восточной (Сисианский район) частях республики (см. фиг. 1). Экономическое значение отдельных месторождений неравноценно: в одних случаях оно характеризуется запасами в десятки миллионов кубометров сырья, удобными транспортными и экономическими условиями (Арагацское месторождение, Раздан-Абовянская группа месторождений), в других — сравнительно ограниченными запасами, удаленностью от населенных пунктов, шоссейных и железных дорог (Воротанское) и др.

Суммарная площадь, занятая кислыми продуктами, связанными с перечисленными выше вулканами, равна примерно 166—172 км<sup>2</sup>, из них 105—110 км<sup>2</sup> приходится на Гегамскую зону, 36—37 км<sup>2</sup> на Арагацкую и 25 км<sup>2</sup> на Сюникскую. Суммарный объем изверженного материала равен около 30 км<sup>3</sup>, из этого количества на долю чисто стекловатых разновидностей приходится примерно 15 км<sup>3</sup>, или 15 млрд. м<sup>3</sup>; разведанные запасы на сегодня по 13 месторождениям достигают 216 млн. м<sup>3</sup>, а это, как не трудно заметить, составляет лишь 1,5% имеющихся общих запасов. Нами выделен целый ряд участков распространения перлитов, которые мо-

гут рассматриваться как перспективные. Сюда относятся северные и северо-западные склоны Мец Артени, отдельные участки южного отрога Покр Артени, северо-восточные, южные и юго-западные склоны горы Атис, юго-восточные и южные склоны Алапарского купола и купола Гехасар, разведанный участок Базенк (Воротанское месторождение), западный и восточный отроги Мец Сатанакар, западный отрог Барцраван и другие участки. К перспективным месторождениям обсидиана относятся северо-западный отрог Мец Артени, юго-восточные, южные и частично западные склоны Покр Артени, юго-восточные, южные и особенно юго-западные склоны горы Атис, отдельные участки горы Гутансар, восточные склоны горы Базенк и др. Как поделочный материал рекомендуются обсидианы юго-западных склонов Артени, брекчированные обсидианы левобережной части р. Раздан, полосчатые черно-бурые обсидианы юго-западных склонов горы Атис, разноцветные полосчатые и брекчированные обсидианы северо-западного отрога Гехасар и др.

Институт геологических наук АН АрмССР

Н. Т. БЛОХА

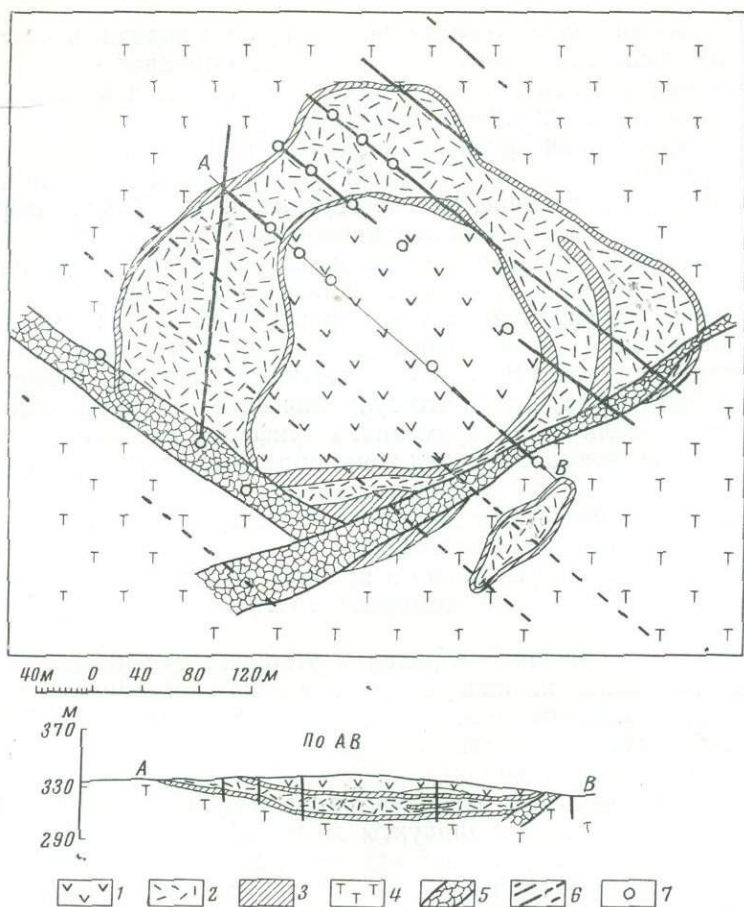
## ГЕОЛОГИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ ХАБАРОВСКОГО КРАЯ

В северо-западной части Малого Хингана широко развиты вулканогенные образования Олонойской серии мелового возраста, выполняющие Хингано-Олонойский прогиб северо-восточного простирания и смятые в пологие, широкие складки куполовидного типа.

В составе серии выделяется шесть свит, каждая из которых фиксирует определенный этап вулканической деятельности. Нижняя часть серии, датируемая нижним мелом, сложена преимущественно эффузивами среднего состава. В перерыве между образованием этих толщ имели место складкообразование, размыв и накопление туфогенно-осадочных пород. Формирование серии завершается вулканической деятельностью и образованием кислых лав и туфов богучанской свиты. Большинство известных в районе проявлений вулканических стекол залегает среди богучанских отложений. Богучанская свита довольно четко подразделяется на две подсвиты. Нижняя подсвита (мощность около 200 м) состоит из липаритов, туфов, фельзитов, лаво- и туфобрекчий с вулканическими стеклами. Верхняя подсвита сложена в основном липаритами и туфами липаритов с редкими прослоями лавобрекчий. Мощность ее 250—300 м.

Вулканические стекла встречаются во многих точках описываемого района. Они образуют небольшие по размерам тела, различающиеся по форме, условиям залегания и генезису. Одно из месторождений — Кимканское разведано довольно детально с помощью канав и скважин колонкового бурения, другие же (Радденское, Падь Федосейха) изучены только в процессе поисковых работ.

Кимканское месторождение вулканических стекол расположено в Облученском районе Еврейской автономной области, в 3 км к северу от ст. Кимкан Дальневосточной железной дороги. Разрозненные участки стекловатых пород залегают среди литокластических туфов и фельзоли-



Фиг. 1. Схема геологического строения Кимканского месторождения вулканических стекол

1— фельзиты, липариты; 2 — перлиты; 3 — витро-литокластические туфы и витролипариты; 4— литокластические туфы; 5— зоны тектонических нарушений; 6— горные выработки; 7— скважины колонкового бурения

паритов богучанской свиты. В южной части изученной площади вскрыто крупное тело перлита блюдцеобразной формы, ограниченное с юго-востока и юго-запада двумя тектоническими нарушениями (см. фиг. 1).

В строении месторождения принимают участие следующие породы (снизу вверх):

1) литокластические туфы, зеленовато-серые, иногда пятнистые с пепловой или фельзитовой основной массой и обломками фельзита;

2) перлиты порфировой структуры. Цвет породы черный, темно-зеленый, буровато-зеленый и дымчатый. Основная масса состоит из свежего вулканического стекла с хорошо выраженной перлитовой отдельностью. Порфировые выделения составляют 1—5% общего объема породы и представлены воднопрозрачным санидином таблитчатой формы. Размер вкрапленников от 0,2 до 1,6 мм. Иногда наблюдаются мелкие обломки фельзита и фельзолипарита;

3) витролипариты микрофлюидального строения. Так же как и перлиты, они обладают порфировой структурой. Вкрапленники составляют не более 3% объема породы;

4) выше залегают сферолитовые фельзиты и фельзолипариты. Это плотные полосчатые породы фиолетового или светло-серого цвета, имею-

щие более свежий облик по сравнению с другими породами месторождения. Контакт фельзитов с нижележащими витролипаритами резкий.

Генетически Кимканское месторождение относится к экструзивному типу. Об этом свидетельствуют следующие факты: в пределах тела наблюдается характерная ориентировка линий течения; они наклонены в направлении центра залежи. Контакты туфов с прорывающими их витролипаритами крутопадающие, иногда вертикальные. Такая форма контактов установлена по данным колонкового бурения. Отмечается крутая, часто вертикальная ориентировка флюиальности витролипаритов.

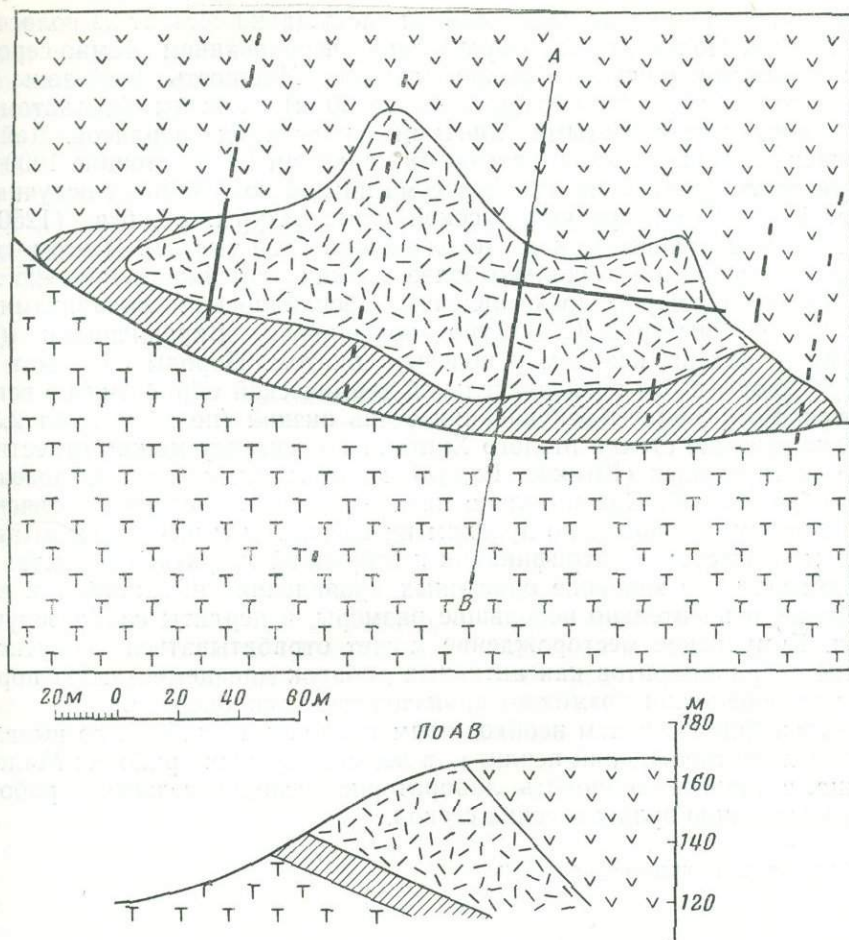
Стекловатые породы связаны с вулканическими аппаратами центрального типа. Извержение имело характер экструзии сравнительно вязкой лавы кислого состава. После остывания из нее образовались витролипариты и перлиты. Весьма ограниченные площади распространения этих пород говорят о том, что вулканические аппараты были небольшими и действовали кратковременно. Периферия перлитового тела может рассматриваться как краевая зона, образовавшаяся при растекании экструзивного купола. Купола аналогичного строения расположены в 200 м к северу и к востоку от данной залежи. Вулканические стекла связываются с поздними фазами затухающей вулканической деятельности в верхнем мелу. Некоторые геологи предлагают даже выделить их в отдельный стратиграфический комплекс, соответствующий границе верхнего мела и палеогена.

На месторождении широко развиты вторично измененные стекловатые породы, особенно на поверхности и в зонах тектонических нарушений. Они представлены осветленными аргилизованными образованиями, глинистыми агрегатами, быстро высыхающими на воздухе и сохраняющими первоначальную структуру исходной породы. Отмечаются новообразования цеолитов, реже сульфидов (пирит и галенит). Под микроскопом отчетливо видны продукты девитрификации стекла, развивающиеся по трещинам перлитовой отдельности.

Качество перлитов изучено по 156 рядовым и 17 технологическим пробам. Стекла содержат от 4 до 6,4% кристаллизационной воды, 72% кремнезема и 7,6% щелочей. Содержания окислов по отдельным пробам колеблются в незначительных пределах. Лабораторно-технологические испытания показали, что изученные перлиты являются трудновспучивающимся сырьем. Для эффективного вспучивания требуется предварительная термическая подготовка перлита при температуре 350—500°. Количество остаточной воды, необходимой для вспучивания, составляет 0,7—1,2%. Лучшие результаты получены при температуре вспучивания 1250—1300°. Коэффициент вспучивания у большинства проб не превышает 2,5 и только в 5% проб он колеблется от 4 до 7. Отсюда средний объемный вес материала составляет лишь 0,91 г/см<sup>3</sup>. Насыпной объемный вес по отдельным пробам колеблется от 366 до 505 кг/м<sup>3</sup>. Водопоглощение вспученного перлита в среднем составляет 16,5%, прочность гранул от 28 до 41 кг/см<sup>2</sup>. Запасы перлитов Кимканского месторождения подсчитаны в количестве 704,6 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе по категории А — 92,3 тыс. м<sup>3</sup>, В — 95,3 тыс. м<sup>3</sup> и С<sub>1</sub> — 517,0 тыс. м<sup>3</sup>.

Радденское месторождение перлита расположено у с. Радде (долина р. Амур). В плане тело перлитов имеет изометричную, несколько вытянутую в широтном направлении форму. Перлиты залегают среди туфов и липаритов в виде крутопадающего тела (фиг. 2). Падение контакта в лежащем боку довольно пологое (10—25°), висячем — значительно круче (45—50°). Перлиты имеют перлитовую текстуру. Они массивны и обладают столбчатой отдельностью. Цвет темно-серый, темно-зеленый или сургучно-красный. Структура порфиновая. Среди витрофиновой основной массы выделяются зерна плагиоклаза, санидина и кварца в количестве 3—10%. Иногда отмечаются сферолиты размером 0,4—





Фиг. 2. Схема геологического строения Радденского месторождения вулканических стекол

1,5 см, состоящие из агрегата радиальнолучистого строения. Состоят они из тонковолокнистых образований полевошпатового состава. На контакте с литокластическими туфами и туфобрекчиями по всем выработкам отмечается выдержанный по мощности (1—1,5 м) слой лавобрекчий с микрофельзитовой основной массой и многочисленными линзочками и обломками вулканического стекла. По-видимому, мы имеем здесь дело с экструзивным куполом. За это говорит форма тела и крутопадающая ориентировка флюидалности в стекле.

Стекла относятся к слабо вспучивающимся образованиям. Оптимальная температура вспучивания 1250—1300°. Средний коэффициент вспучивания при температуре 1250°—3,08, при температуре 1300°—3,71. Отдельные гранулы вспученного перлита имеют хорошую прочность, равномерную мелкую пористость и оплавленную поверхность. Водопоглощение не превышает 7,3%. Насыпной объемный вес 315—420 кг/м<sup>3</sup>. Запасы перлитов по категории С<sub>2</sub> составляют 273,2 тыс. м<sup>3</sup>. В радиусе 7 км от с. Радде имеются еще три петрографически близких проявления перлитов с ориентировочными запасами 60—80 тыс. м<sup>3</sup> для каждого тела.

Месторождение «Падь Федосейха» находится в 65 км к юго-западу от г. Облучье. Перлиты образуют дайку, прорывающую липаритовые туфы богучанской свиты. Падение пород крутое, под углом 50—60°. Про-

стирание меридиональное. Центральная часть дайки состоит из полосчатых перлитов. Полосчатость обусловлена чередованием темно-серого стекла и светло-коричневого микрофельзита. Мощность этой зоны до 100 м. Зальбанды дайки (мощностью до 30 м) сложены фельзитом и фельзит-порфиром с частыми линзами полосчатых перлитов. Дайка прослежена по простираанию короткими канавами на расстояние 1000 м. Перлиты этого проявления имеют весьма низкий коэффициент вспучивания (от 1,9 до 3,3) и требуют высокой температуры обжига (1250—1350°). Запасы вулканических стекол около 900 тыс. м<sup>3</sup>. В этом же районе встречено еще несколько более мелких (мощностью 10—25 м) даек стекловатых пород, представленных обсидиановыми липаритами с флюидалной текстурой. Структура порфировая. Вкрапленники (до 50%) представлены кварцем и полевым шпатом. Породы содержат от 3 до 4,8% воды и без предварительной термической обработки не вспучиваются. Коэффициент вспучивания очень низкий (не превышает 2,3).

Вулканические стекла Малого Хингана по генезису можно отнести к группе экструзивных (Кимкан, Радде) и интрузивных (падь Федосеиха и др.) образований. Сравнительно низкое качество перлитов объясняется, по-видимому, довольно древним их возрастом и интенсивным проявлением процессов девитрификации и вторичной гидратации стекла.

Промышленное значение описанных проявлений невелико, так как тела имеют относительно небольшие размеры, а перлиты слабо вспучиваются. Кимканское месторождение может отрабатываться попутно с добычей витролипаритов как активных добавок для цемента. Из пород этого месторождения возможно производство стеклопорита.

В дальнейшем считаем необходимым продолжить работы по выявлению новых месторождений перлита в легкодоступных районах Малого Хингана, а также возобновить лабораторно-исследовательские работы по использованию вулканических стекол.

Читинское геологическое управление

■  
**Д. Е. САВАТЕЕВ**

## **ПЕМЗЫ, ВУЛКАНИЧЕСКИЕ СТЕКЛА И ШЛАКИ КАМЧАТКИ**

Пемза, шлаки и вулканические стекла весьма широко распространены на Камчатке. Запасы могут не только с избытком перекрыть быстро растущие потребности Камчатской области, но вулканические стекла могут и вывозиться; при этом могут быть выгодно использованы недогруженные емкости морского транспорта, так как известно, что грузопоток на Камчатку в несколько раз превышает обратные перевозки.

### **МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЕМЗЫ**

Пемзы распространены в средней и особенно в южной части Камчатки (фиг. 1). Запасы отдельных месторождений измеряются обычно десятками миллионов кубометров, а в уникальной Озерновско-Гольгинской группе месторождений превышают 20 млрд. м<sup>3</sup>. Многие залежи расположены вблизи дорог или у морского берега, легко доступны для разработки и вывоза пемзы.

В генетическом отношении могут быть выделены первичные вулканические накопления и вторичные, образованные за счет размыва первичных залежей и переотложения пемзы в речных, озерных, лагунных образованиях (Саватеев, 1961).

Возраст пемзообразования относится в основном к трем эпохам: вторая половина плиоцена (кавронская и алнейская серии), средневерхне-четвертичная и современная. Омоложение вулканизма сопровождается перемещением очагов пемзообразования в восточном и южном направлениях.

Разведка пемзы на Камчатке проводилась на трех проявлениях: Озерновско-Гольгинской группе месторождений (на юге), Жупановском и Авачинском месторождениях (средняя часть Камчатка). По другим залежам пемзы имеются лишь очень краткие геологические данные.

Месторождения Озерновско - Гольгинской группы изучались многими исследователями: Г. А. Дягилевым, Н. И. Лазаренко, А. А. Питаде (1930—1932 гг.), В. С. Шеймовичем, О. А. Брайдовой и Т. С. Краевой (1963—1964 гг.). Они показали, что пемзовые залежи юга Камчатки, рассматривавшиеся ранее как самостоятельные месторождения, появились в результате одного мощного извержения, которому сопутствовало образование провальной кальдеры, занятой ныне Курильским озером. В подтверждение своей концепции эти исследователи приводят следующие главные факты: а) радиальное расположение пемзовых потоков по отношению к Курильскому озеру; б) общность стратиграфического положения различных залежей пемзы; в) закономерное и однотипное для разных потоков пемзы изменение гранулометрического состава и мощности по мере удаления от Курильского озера (Брайцева и др., 1965). Время извержения пемзы точно датируется по пробам обугленной древесины из подшвы пемзовых залежей. Для этих растительных остатков в лаборатории ГИН АН СССР радиоуглеродным методом определен возраст  $8340 \pm 50$  лет (проба ГИН-211).

Общая площадь, занятая накоплениями пемзы, до  $600 \text{ км}^2$ , средняя мощность на отдельных участках 40—55 м, наибольшая мощность (110 м) установлена в верховьях р. Озерной, в урочище Кутхины баты, получившем известность благодаря эффективным столбчатым останцам выветривания, фотографии которых публиковались неоднократно.

Залежи состоят из агломеративного материала. Размер обломков пемзы варьирует от пылевидного до 30—50 см в поперечнике. Примесь кристаллического материала составляет 15—20, редко 30—40% (кварц, полевой шпат, темноцветные минералы, обломки эффузивных пород). Слоистость выражена неясно.

Пемза в основном представлена тонколористыми разностями от чисто белого до пепельно-серого и желтовато-бурого цвета. По химическому составу пемза липаритовая (таблица, анализы 1—4). В ней присутствуют редкие вкрапленники кварца, полевого шпата, роговой обманки, авгита, обломки массивного стекла. Значительная часть пемзового материала не содержит вкрапленников, обладает тонковолокнистой текстурой с шелковистым блеском в изломе и представляет собой высокосортную абразивную пемзу.



Фиг. 1. Схема распространения месторождений пемзы на Камчатке

I — верхнемиоценовые проявления; II — средневерхне-четвертичные месторождения; III — современные месторождения: 1 — Озерновско-Гольгинское; 2 — Жупановское; 3 — Авачинское; 4 — Ходуткинское

## Химический состав (в вес. %) пемз, перлитов и шлаков Камчатки

Оксиды	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	70,59	71,24	70,53	68,23	63,80	60,12	75,32	73,41	75,32	54,22
TiO <sub>2</sub>	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,62	0,11	0,14	0,10	
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,76	15,53	17,43	16,10	16,32	21,02	14,16	15,40	12,92	21,63
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	}1,20	}0,30	}2,10	}4,47	}9,00	4,42	}1,00	}1,87	0,48	7,51
FeO						1,71				
MnO	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	0,17	Не опр.	Не опр.	0,08	—
MgO	0,46	0,80	0,69	0,73	1,06	2,44	Следы	Следы	0,39	3,78
CaO	2,60	3,54	4,10	4,40	4,05	6,91	1,08	0,96	0,84	9,51
Na <sub>2</sub> O	2,19	1,98	}1,34	}1,85	3,00	3,62	3,81	3,20	3,82	—
K <sub>2</sub> O	4,75	4,82			1,09	0,67	3,88	3,72	3,98	—
SO <sub>3</sub>	0,06	0,03	0,32	0,22	0,30	—	0,09	Следы		0,07
П.п.п	3,07	3,16	3,20	3,37	1,58	0,90	0,81	2,30	1,72	2,32
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	—	—	0,29	0,63	Не опр.	—	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Сумма	101,68	101,41	100,00	100,00	100,20	102,30	100,17	100,00	100,09	100,04

1—4 — пемзы Озерновского месторождения, по Н. И. Лазаренко; 1 — 2 — кусковая пемза, 3 — орешковая пемза, 4 — пумицит; 5 — пемза Жупановского месторождения, по С. И. Зименко; 6 — пемза Авачинского месторождения, по А. Н. Заварицкому; 7 — 8 — стекловатые породы Накинского месторождения, по Б. Я. Зиману; 9 — перлит горы Бархатной, по С. Е. Апрелькову; 10 — шлак Козельского месторождения (Скрамтаев, 1959).

На разведанных участках в верховьях р. Озерной, по Н. И. Лазаренко, распределение пемзы по сортам характеризуется следующими средними цифрами: высший сорт (20—50 см) — 1,7%, первый сорт (10—20 см) — 4,3%, второй сорт (5—10 см) — 6,8%, орешковая пемза (2—5 см) — 40,2%, строительная пемза (0,2—2 см) — 29,9%, песок и пумицит (мельче 0,2 см) — 17,1%. Запасы пемзы на разведанных участках составляют 190 млн. м<sup>3</sup>, а общие перспективные запасы пемзы Озерновско-Гольгинского месторождения Н. И. Лазаренко определил в 23,2 млрд. м<sup>3</sup>.

Озерновское месторождение связано с берегом Охотского моря автодорогой протяжением 25—30 км. Для местного строительства в пос. Озерное используется переотложенная аллювиальная пемза из небольших залежей, расположенных вблизи строок.

Практическое значение могут иметь также Алеутское и Ходуткинское месторождения, находящиеся вблизи берегов Тихого океана.

Жупановское месторождение расположено на берегу Кроноцкого залива, у лимана Семлячик, в 20 км к северо-востоку от г. Петропавловска. Оно изучалось Н. Т. Ольтявским (1939), Е. М. Изотовой (1953) и С. И. Зименко (1962—1963). Е. М. Изотова относит пемзы к верхнему отделу четвертичной системы; они залегают на среднечетвертичных вулканогенных отложениях, перекрыты современными песчано-глинистыми породами мощностью 1,5—3 м. Общая мощность пемзоносной толщи более 20 м. Примесь андезитов и базальтов составляет около 30% объема всего материала. Гранулометрический состав очень неравномерен: в среднем в пемзовой породе содержится 52,7% песка, 47,3% гравия и более крупных кусков. Встречаются также и невыдержанные пласты крупнокусковой и глыбовой пемзы, содержащие 10—12% песка. Пемза по составу андезито-дацитовая (см. таблицу, анализ 5), содержание вкрапленников плагиоклаза и пироксена составляет 10—18%. Испытания, проведенные в Дальневосточном политехническом институте (г. Владивосток), показали пригодность жупановской пемзы для производства бетонов марки 100 с объемным весом 1220—1375 кг/м<sup>3</sup>. Промышленные запасы пемзы 5 млн. м<sup>3</sup>, геологические — до 60 млн. м<sup>3</sup>.

Авачинское месторождение пемзы расположено у южного подножья вулкана Авача, в 15—17 км от г. Петропавловска, с которым соединено автодорогой. Это месторождение впервые описано в 1930 г. А. З. Лазаревым, поисковые и разведочные работы проведены Д. Е. Саватеевым (1951), Н. В. Чернышевым (1954) и Т. И. Усовой (1956).

Месторождение представляет гряду на протяжении 5 км, содержащую более 18 млн. м<sup>3</sup> пемзонасной породы. Последняя состоит из пумицита — 20%, песка — 40% и 40% пемзовых обломков крупностью до 30 см в поперечнике. Фракция крупнее 5 мм на 50% состоит из обломков тяжелых эффузивных пород. Пемза имеет дацитовый состав (см. таблицу, анализ 6). В пористом стекле 10—30% объема занимают вкрапленники плагиоклаза и пироксена. Мощность вскрышных пород 1—6 м. Это месторождение, по-видимому, образовалось при катастрофическом извержении Авачи в 1735 г., которое сопровождалось уничтожением части первичного вулканического конуса (Саватеев, 1959).

Природные несортированные пемзовые отложения этого месторождения имеют объемный насыпной вес 1,12—1,42 г/см<sup>3</sup>; такая пемза пригодна в качестве заполнителя бетона марки 100 с объемным весом 1600—1800 кг/м<sup>3</sup>. Из гравия крупнее 5 мм могут быть получены бетоны марки 200, из песка мельче 5 мм — строительные растворы марки 150.

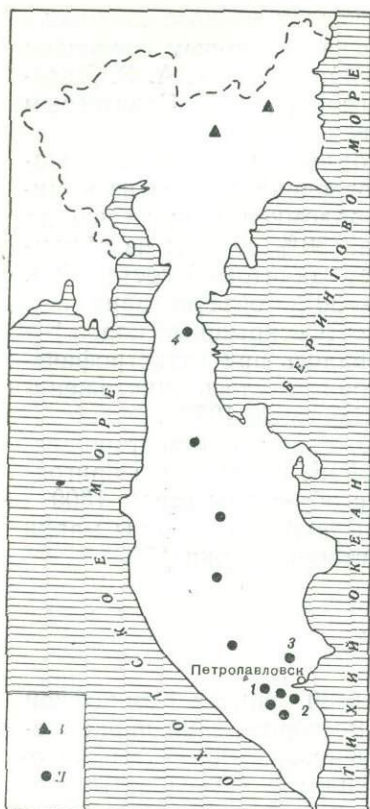
### МЕСТОРОЖДЕНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА

Вулканические стекла известны более чем в 30 пунктах Камчатской области (фиг. 2). Подавляющее большинство месторождений принадлежит к кислым эффузиям и экструзивам плиоценового или четвертичного возраста. Особняком стоят проявления тахилитов (стекловатых пород основного состава) в Коряком нагорье.

Разведано одно месторождение — Начикинское, в 90 км к западу от г. Петропавловска, остальные изучены слабо. Начикинское месторождение открыто в 1957 г. В. И. Тихоновым (Геологический институт АН СССР); в последующие годы оно разведывалось С. И. Зименко, Б. Я. Зиманом и др. Стекловатые породы образуют наклоненную зону мощностью до 30 м, лежащую на андезитах и туфах альнейской серии (плиоцен) и перекрытую синхронными с ними липаритами. Нижняя часть зоны мощностью от 4 до 18 м представлена перлитами, которые довольно резко сменяются обсидианом. Количество воды в перлите уменьшается с низу вверх от 6 до 1%, в обсидиане вода составляет около 0,5%. Граница между обсидианом и перекрывающим липаритом резкая, но во многих местах к ней приурочены участки такситовых пород полосчатого или брекчиевидного строения, состоящие из стекла и липарита. Стекло имеет свежий облик, темно-серый до черного цвет, в тонких осколках оно почти бесцветно. Вулканическое стекло содержит около 1% (изредка до 3%) вкрапленников плагиоклаза, реже — биотита, амфибола, пироксена, магнетита. Химический состав стекол отражен в таблице, анализы 7, 8. По внешнему виду обсидианы и перлиты неразличимы. ○

Перлиты в нижней части залежи трещиноваты. По трещинам развивается белое глинистое вещество галлуазитового состава. Скопления кристаллитов обуславливают слабо заметную полосчатость стекла. По данным технологических испытаний перлиты пригодны для получения вспученного песка и щебня, обсидианы — только для щебня. Коэффициент вспучивания колеблется от 4 до 26. Промышленные запасы перлита 1,5 млн. м<sup>3</sup>, обсидиана — 3 млн. м<sup>3</sup>.

Из других месторождений перспективны стекловатые породы бассейна р. Паратунки и северной части полуострова.



Фиг. 2. Схема распространения месторождений вулканических стекол на Камчатке

I — тахилиты верхнемелового возраста;  
 II — обсидианы и перлиты (плиоценовые и четвертичные): 1 — Начикинское;  
 2 — Верхне-Паратунское; 3 — Купол; 4 — Северо-Камчатская группа

магмы (стромболианский тип). Конусы достигают высоты 700 м; часто они образуют группы. Характерным примером являются окрестности вулкана Ходутка (Южная Камчатка), где на площади около 300 км<sup>2</sup> насчитывается до 50 шлаковых конусов.

Поля шлаковой пирокластики образуются в результате сильного взрыва с выбросом в воздух огромных туч пористого песка, пепла, лапиллей, которые выпадают на склоны вулкана, образуя мощные отложения. Подобное извержение возможно при определенном составе, температуре, вязкости и газонасыщенности магмы, а также при благоприятных метеорологических условиях. Поэтому эксплозивные месторождения образуются реже, чем месторождения шлаковых конусов.

Разведано только одно — Козельское месторождение шлаковой пирокластики, возникшее при извержении Авачинского вулкана 25 февраля 1945 г. (довольно редкий случай, когда для месторождения полезного ископаемого можно точно указать «день рождения»). По подсчетам Б. И. Пийпа, было выброшено 0,25 км<sup>3</sup> рыхлого материала. Козельское поле шлака занимает 94 км<sup>2</sup>. Оно расположено в 40—50 км к северо-востоку от г. Петропавловска и пересекается грунтовой дорогой. На разведанном участке средняя мощность шлака составляет 45—60 см, в понижениях рельефа она достигает 165 см, на склонах и вершинах холмов

Кислые экструзии гор Бархатной и Горячей имеют сходное геологическое строение, расположены в верхьях р. Паратунки, около 40 км к югу от г. Петропавловска (Апрелков, Шеимович, 1963). В куполе горы Бархатной перлиты мощностью 50—70 м слагают верхнюю часть экструзива. Химический состав породы представлен в таблице, анализ 9. По лабораторным пробам установлена пригодность этих пород для производства легких заполнителей бетонов.

На севере Камчатки И. Ф. Моро в 1961 и 1963 гг. выявил более 10 залежей стекловатых пород; в них содержится до 6% связанной воды. Вспучивание этих пород дало положительные результаты. Некоторые залежи расположены в легко доступных местах и могут служить источником сырья для получения легких заполнителей в северных районах Камчатской области.

#### МЕСТОРОЖДЕНИЯ ШЛАКА

Вулканические шлаки на Камчатке приурочены к срединному и восточному поясам четвертичного вулканизма. Исключение составляет шлаковый конус Нарзанный, входящий в обособленную систему древнечетвертичного вулкана г. Начика (фиг. 3).

Выделяются два типа шлаковых месторождений — шлаковые конуса и поля шлаковых пирокластических накоплений. Первые возникают при длительных извержениях газонасыщенной базальтовой

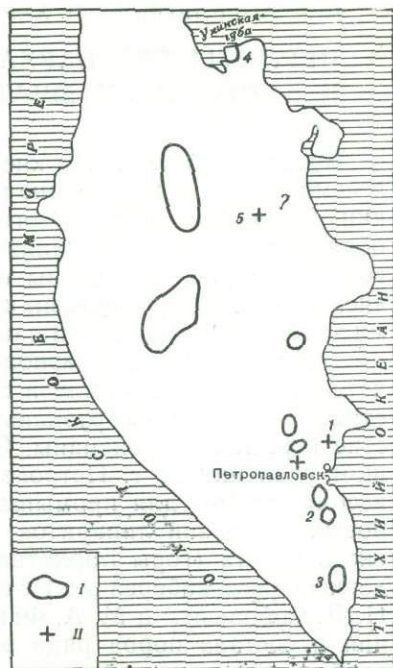
уменьшается и местами шлак выклинивается. Шлак рыхлый, сыпучий, темно-серого цвета. Ветровая сортировка создала довольно равномерный зерновой состав с размером частиц от 1 до 8 мм. Пористость шлака 40—60%, насыпной вес 0,96 г/см<sup>3</sup>. Бурое непрозрачное стекло составляет около 70% породы, остальная часть — вкрапленники плагиоклаза, пироксена, магнетита. Химический состав отражен в таблице, анализ 10.

М. Г. Валов (Камчатское геологическое управление) подсчитал запасы шлака по категориям А+В+С<sub>1</sub> в количестве 1,5 млн. т, С<sub>2</sub> — 17 млн. т. Шлак, добываемый открытым способом без какой-либо дополнительной обработки, поступает в бетономешалки; поэтому он весьма выгоден и применяется для изготовления крупных и мелких стеновых шлакобетонных блоков с объемным весом 1600—1800 кг/м<sup>3</sup> марки 100. Опытами доказано, что прочность шлакобетона увеличивается вдвое при добавке молотого шлака или в результате обработки бетонной массы на бегунах. Годовая добыча шлака превышает 100 тыс. м<sup>3</sup>. Неправильно организованная эксплуатация месторождения приводит к потере до 50% шлака, и разведанные участки быстро истощаются.

Перспективными являются шлаковые конусы на правобережье р. Паратунки, в том числе конус, венчающий экструзивный купол горы Бархатной, упоминавшийся уже при описании перлитов. Шлаковый конус Нарзанный расположен в выгодных транспортных условиях на берегу Укинской губы. Высота конуса 150 м, объем глыбово-лапиллевого шлака около 10 млн. м<sup>3</sup>. Из шлака этого месторождения в лаборатории треста «Камчатрыбстрой» были получены бетоны марок 50 и 75 с объемным весом 1140—1175 кг/м<sup>3</sup> при расходе цемента марки 400 от 235 до 253 кг/м<sup>3</sup>. Этот конус может служить источником легкого заполнителя для обеспечения строек в северной части Камчатской области.

Из приведенного краткого обзора видно, что богатейшие месторождения пемзы, вулканических стекол и шлаков Камчатки изучены еще весьма недостаточно и используются в ничтожно малых количествах. В то же время строительная промышленность Камчатки и сопредельных областей испытывает острый недостаток в легких заполнителях. Насущной задачей руководящих плановых и хозяйственных органов является изыскание и создание таких организационных форм и методов, при которых начнется быстрое освоение богатых природных ресурсов Камчатки.

Камчатское геологическое управление



Фиг. 3. Схема распространения месторождений и проявлений шлаков на Камчатке

I — области распространения шлаковых конусов; II — области проявления шлаковой пирокластики

Месторождения: 1 — Козельское; 2 — верховьев р. Паратунки; 3 — окрестностей вулкана Ходутка; 4 — Северо-Камчатская группа; 5 — Восточно-Камчатская группа

## ПЕРЛИТЫ ГОР БАРХАТНАЯ И КУПОЛ НА КАМЧАТКЕ

Вулканические стекла кислого состава с недавнего времени получили весьма широкое применение в народном хозяйстве (Петров, 1955; Наседкин, 1961). Все запасы этого сырья сосредоточены главным образом в областях молодого вулканизма. Чрезвычайно широко вулканы кислого состава распространены на Камчатке, где они представлены многочисленными экструзивными куполами, покровами игнимбригов и мощными залежами пемз. Среди наиболее молодых вулканигов кислого состава можно выделить две разновозрастные группы: плиоценовые породы и четвертичные. В настоящей статье мы остановимся лишь на характеристике отдельных экструзивных тел, в строении которых принимают участие перлиты и обсидианы. Они расположены на сравнительно небольшом удалении от г. Петропавловска и по горно-техническим условиям весьма удобны для промышленного освоения. Большая группа плиоценовых экструзивных тел сосредоточена в пределах Южно-Быстринского хребта (горы Бархатная, Бабий Камень, Горячая и др.) и на тихоокеанском побережье. Некоторые из них описывались Б. И. Пийпом, Н. Д. Соболевым и М. А. Фаворской. Особенности геологического строения и состава пород ряда экструзивных куполов Южно-Быстринского хребта освещены также в работе С. Е. Апрелькова и В. С. Шеймовича (1963).

### ПЕРЛИТОВЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЮЖНО-БЫСТРИНСКОГО ХРЕБТА

Экструзивные тела обычно имеют вид куполовидных возвышенностей. В плане они изометричны. Занимаемая ими площадь составляет 1—12 км<sup>2</sup>. Наиболее крупные тела представляют переходные образования от собственно экструзивных куполов к более сложным вулканическим аппаратам. Крупные тела сложены липаритами, обсидианами, туфами и туфолавами. Верхние части экструзивов обычно состоят из липаритов и обсидианов.

Примером месторождения этого типа является гора Бархатная. Она расположена на правом берегу р. Паратунки недалеко от с. Паратунка. Для геологического разреза характерна следующая последовательность пород (снизу вверх): туфы (15—20 м), туфолавы (30—50 м), липариты (350—400 м) и обсидианы (50—70 м); встречаются также перлиты.

Липариты характеризуются порфировой структурой и стекловатой основной массой. Количество вкрапленников, представленных плагиоклазом, биотитом и кварцем, сильно колеблется, но не превышает 65%. В обсидианах отмечаются редкие единичные вкрапленники тех же минералов. Породы, названные нами туфолавами, отличаются от игнимбригов многими микроструктурными особенностями. Они сложены массивным стеклом без признаков обломочного строения, фьямме туфолов, как правило, катаклазированы. Туфы состоят из обломков вулканического стекла (60—70%), липаритов, минералов-вкрапленников и реже пород андезитового состава. Из них были опробованы лишь перлиты с небольшим количеством вкрапленников (около 20%). Результаты испытаний этих пород (две пробы) на вспучиваемость, проведенных в комплексном научно-исследовательском институте (г. Магадан), приведены в табл. 1. Химические анализы перлитов горы Бархатной отражены в табл. 2. Вспученные продукты из обеих проб выдержали 25



Характеристика физических свойств перлита до и после вспучивания

№ образца	Порода	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	Объемный вес		Общая пористость, %	Температура вспучивания, °С	Время вспучивания, мин	Кэф-фици-ент вспучивания	Влаго-погло-щение, %	Проч-ность на сжа-тие, кг/м <sup>2</sup>
			в куске, г/см <sup>3</sup>	в засыпке, кг/м <sup>3</sup>						
800а	Невспученный перлит	2,40	2,32	—	2,33	—	—	—	2,0	—
800	То же	2,42	2,36	—	2,48	—	—	—	2,0	—
800а	Вспученный перлит (крупная фракция)	2,40	1,34	—	19	1200±10	20	1,7	3,5	30—40
801	То же	2,42	0,95	—	24	1200±10	20	2,5	5,6	10—20
800а	Вспученный перлит (фракция 5—10 мм)	2,40	—	790—1217	—	1200±10	50	1,54 (среднее)	6,1	—
801	То же	2,42	—	350—1360	—	1200±10	50	3,9 (среднее)	11,0	—

Таблица 2

Химический состав (в вес. %) пород горы Бархатной

Компонент	1				Компонент	2			
	1	2	3	4		1	2	3	4
SiO <sub>2</sub>	75,32	74,74	71,32	74,48	MgO	0,39	0,39	0,72	0,42
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,10	He опр.	0,20	Na <sub>2</sub> O	3,82	3,74	4,12	3,52
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12,92	13,54	15,3	14,19	K <sub>2</sub> O	3,98	4,22	3,27	3,26
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,48	0,48	1,47	1,05	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,18	0,12	He опр.	He
FeO	0,44	0,44	He опр.	0,5	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	1,47	1,21	» »	» »
MnO	0,08	0,08	» »	0,04	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	He опр.	He опр.	» »	0,05
CaO	0,84	0,84	2,51	1,05	С у м м а	100,02	99,88	98,71	99,71

1 — 3 — перлит; 4 — липарит.

циклов попеременного замораживания и оттайки без заметных признаков разрушения. Таким образом, исследованные образцы пород горы Бархатной представляют собой вулканические стекла, способные вспучиваться при обжиге. Обжиг при температуре порядка 1200°С дает вспученные продукты с объемным весом 350—790 кг/см<sup>3</sup>, пригодные в качестве заполнителей легких бетонов.

### МЕСТОРОЖДЕНИЕ КУПОЛ

Перлитовое месторождение Купол расположено на восточном склоне одноименного среднечетвертичного вулкана, в 60 км к северу от г. Петропавловска, в верховьях рек Правой Нальчевой и Китхой.

В геологическом строении района принимают участие неогеновые вулканогенные и интрузивные породы и лавы четвертичных вулканов. Наиболее древние (нижний миоцен) породы района (андезиты, базальты, средние и основные туфы паратунской свиты) обнажаются в Нальчевском горстовом поднятии. Эти породы совместно с прорывающими их габбро-диоритами, диоритами и диоритовыми порфиридами слагают

фундамент вулкана Купол, который возвышается в центре вышеуказанного поднятия. Вулканогенные породы алнейской серии (верхний миоцен-плиоцен) совместно с древнечетвертичными базальтами служат обрамлением горста и являются производными древнего обширного щитовидного вулкана, названного С. Е. Аспрелковым в 1963 г. Китхойским (Аспрелков, 1966). Вулкан Купол располагается в центре древнего вулкана и, видимо, унаследовал от него магмоподводящий канал. Лавы вулкана занимают площадь около 90 км<sup>2</sup>, склоны его имеют ступенчатое строение благодаря чередованию нескольких лавовых потоков.

В основании северо-западных склонов вулкана залегают кислые пемзовые туфы и игнимбриты, обнажающиеся в глубоковрезанных эрозионных ложбинах. Игнимбриты имеют столбчатую отдельность, высота столбов достигает 15 м. В породе отчетливо различаются тонкообломочная масса и фьямме. Стекло фьямме свойственна флюидално-плотчатая текстура, обусловленная влиянием соседних с фьямме обломков кристаллов. Вкрапленники во фьямме представлены плагиоклазом (андезин № 35), гиперстенom, моноклинным пироксеном, биотитом, опациitized бурой роговой обманкой. Основная масса игнимбритов состоит из светло-коричневого раскристаллизованного стекла (тридимит, кристобалит) с включениями мелких обломков бурого стекла. Породы верхней части разреза приобретают облик типичных туфов, фьямме в них отсутствуют; встречаются обломки пемзы и темно-серых андезитов. Количество стекла в цементирующей основной массе туфов постепенно уменьшается, и непосредственно наверху стекло исчезает совсем. На месте стекла развиваются скелетные агрегаты тридимита, кристобалита и санидина. Цемент в туфах приобретает структуру, близкую к микрофельзитовой. Общая мощность игнимбритов и туфов достигает 80 м. Выше залегают потоки дацитового и андезитового состава с общей мощностью около 250 м. На северо-западных склонах дациты налегают на игнимбриты и кислые туфы, на остальных участках они залегают непосредственно на диоритах и измененных породах паратунской свиты фундамента вулкана. Пироксеновые андезиты покрывают в основном южные, юго-восточные и северо-восточные склоны вулкана, спускаясь от отметки 1400 до 900 м. В целом вулкан Купол представляет собой лавовый полигенный вулканический аппарат. Возраст его среднечетвертичный.

На восточном склоне вулкана присутствуют два экструзивных купола. Лавовые потоки в этом месте залегают довольно полого и поэтому экструзивные купола, обладающие крутыми склонами, отчетливо выделяются на их фоне. Превышение северного и наиболее крупного купола над поверхностью потока составляет 100 м. В плане это овальная сопка площадью около 0,5 км<sup>2</sup>. Второй экструзивный купол расположен на 800 м южнее первого, и площадь его в плане около 0,1 км<sup>2</sup>.

Северный экструзив сложен пемзовидными липаритами, липаритовыми вспененными лавами и перлитами. Пемзовидные разности липаритов слагают верхнюю часть куполов. В пемзовидных и полосчатых липаритах темноцветные минералы представлены биотитом и, реже, бурой роговой обманкой. Стекловатая основная масса состоит из бурого и бесцветного стекла и многочисленных сферолитов, развивающихся вокруг вкрапленников плагиоклаза и кварца. Собственно перлиты отличаются массивным сложением, хотя и среди них в верхней части появляются пемзовидные разности. Самую верхнюю часть экструзии слагают своеобразные породы, названные нами вспененными лавами. Они имеют светло-серый цвет и состоят из обломков (до 4—5 см) пемзовидных липаритов, заключенных в слегка окрашенную кремевую, пористую стекловатую массу. Под микроскопом хорошо видно, что обломки линзовидной и неправильной формы тесно спаяны друг с другом,

а цемент состоит из дробленого пемзового стекла того же состава. Вероятно, эта лава, очень газонасыщенная, при выходе на поверхность вспенилась и претерпела катаклиз. Перлиты слагают привершинную часть купола, образуя пластообразную залежь мощностью 30 м, протяженностью 700 м и шириной 400 м. Залегают они выше биотит-роговообманковых липаритов и перекрываются пемзовидными липаритами и пористыми лавами.

Перлиты представляют собой стекловатые породы с серовато-черной основной массой. Петрографический состав перлитов следующий: андезин № 35 (7%), кварц (10%), биотит (3—4%), микролиты (10—15%), кислое стекло (60—70%), немного магнетита. Вкрапленники сравнительно редки, основная масса витрофировая с перлитовой отдельностью и неправильными сферолитами.

Южный экструзивный купол имеет аналогичное строение. В перлитах присутствуют многочисленные бурые сферолиты диаметром до 0,3 мм. Наличие вертикальной и веерообразной отдельностей на вершинах куполов, деформация кристаллов и другие характерные особенности дают основание предполагать, что купола образовались путем выжимания вязкой лавы из вертикальных каналов. Формирование экструзивов происходило в заключительную стадию развития вулкана Купол.

По данным лаборатории неметаллических полезных ископаемых Дальневосточного политехнического института (г. Владивосток), перлиты этих экструзивных куполов характеризуются следующими константами: объемный вес —  $2,01 \text{ г/см}^3$ , удельный вес —  $2,47 \text{ г/см}^3$ , пористость — 18,2%, водопоглощение — 5,38%, насыпной (объемный) вес вспученного перлитового гравия —  $0,27 \text{ г/см}^3$ , объемный вес вспученного куска перлита —  $0,37 \text{ г/см}^3$ . Химический состав образца перлита по данным той же лаборатории и липарита из лав вулкана Купол по данным Б. И. Пийпа (1914) приводится в табл. 2. Высокий коэффициент всучивания (10,3) свидетельствует о высоком качестве перлита.

Геологические запасы перлитов гор Бархатная и Купол представляются значительными. В долине р. Паратунки ведется строительство жилых зданий и промышленных предприятий. В недалеком будущем предстоит освоение термальных источников Налычевской долины; детальная их разведка позволит выявить истинную ценность месторождений и организовать производство легких заполнителей бетонов в непосредственной близости от строительных объектов.

Камчатское геологическое управление

И. С. СОЛОНИНКО

## **ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ВОДОСОДЕРЖАЩИЕ СТЕКЛА СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ВЫГОРЛАТ-ГУТИНСКОЙ ВУЛКАНИЧЕСКОЙ ГРЯДЫ ЗАКАРПАТЬЯ**

В пределах Восточных Карпат водосодержащие вулканические стекла пользуются довольно широким распространением. Наиболее крупные месторождения стекол локализируются в юго-восточной части хребта Великий Шоллес, в междуречье Ужа и Латорицы и в пределах Береговского холмогорья. Изучением вулканических стекол Закарпатья

занимались А. П. Бобривич (1952), Е. Ф. Малеев (1964), В. В. Наседкин (1963), В. И. Залесский, И. С. Солонинко (1963, 1966) и др. Наиболее детально изучены месторождения Береговского холмогорья (Ардов-Затышнянское и Пеликан) с разведанными запасами порядка 40 млн. м<sup>3</sup>. Образование вулканических стекол этого района связано с тортон-сарматским вулканизмом. В меньшей степени изучены перлиты северо-западной части Выгорлат-Гутинской гряды — области проявления верхнеплиоценового вулканизма (месторождения Визниця). В 1966 г. автор настоящей статьи проводил геолого-поисковые исследования в районе Визницкой группы месторождений (Визницкое, Ручей Червоный, Герцовское, Счастливое, Микуловцы), расположенных в междуречье Ужа и Латорицы. Проявления вулканических стекол верхнеплиоценового возраста связаны с экструзией липарито-дацитовых лав. Наиболее крупный купол находится к северу от с. Счастливое, в районе сел Герцовцы и Пузняковцы.

Ниже приводится качественная характеристика перлитов месторождений данного района. Химические составы всех изученных образцов стекла представлены в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав (в вес. %) перлитовых пород месторождений Закарпатья

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	74,48	74,49	72,81	72,46	73,60	71,88	73,41	69,83	68,01
TiO <sub>2</sub>	0,14	0,12	0,07	0,09	0,10	—	—	0,12	0,16
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,05	12,49	14,36	14,32	14,65	14,51	15,12	14,90	15,81
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,05	1,07	0,68	0,60	0,95	0,67	0,00	0,63	1,32
FeO	0,79	0,87	0,71	0,96	0,47	1,31	1,60	1,60	1,84
CaO	1,51	1,40	1,44	1,41	1,51	1,42	1,52	2,38	2,83
MgO	0,05	0,14	0,00	0,00	0,00	Следы	0,00	0,15	0,37
MnO	Следы	Следы	0,05	0,04	0,03	0,02	Следы	Следы	0,00
Na <sub>2</sub> O	3,20	3,23	2,59	2,80	2,85	3,52	3,22	4,16	2,84
K <sub>2</sub> O	4,47	4,64	4,60	4,65	4,58	4,52	4,32	3,30	3,70
SO <sub>3</sub>	Следы	Следы	0,00	0,00	0,01	Следы	0,15	0,14	Следы
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	0,00	0,00	0,00	Следы	Следы	0,25	0,06
П.п.п.	3,09	2,03	3,16	3,09	1,70	2,53	0,86	2,82	2,17
Сумма	101,83	100,48	100,47	100,42	100,45	100,38	100,20	100,28	99,11

1—4 — Счастливое; 5—Микуловцы (первый участок); 6,7—Микуловцы (второй участок); 8 — Герцовское; 9—Визницкое.

Перлиты окрестностей с. Верхняя Визница отличаются непостоянством состава и большим количеством вкрапленников (34—40% объема породы). Стекловатые породы Ручья Червоного относятся к андезит-дацитам. Они обладают массивным обликом и большим количеством вкрапленников. Герцовский купол слагают вулканические стекла типа мареканитов (Наседкин, 1963). Они отличаются однородным составом и относительно небольшим количеством вкрапленников. Содержание в стекле воды 1,5—2,0%. Мареканитовое стекло Герцовцев обладает низкой вспучиваемостью.

Вулканические стекла наиболее высокого качества выявлены в 1966 г. в районе с. Счастливое (три разобщенных участка). Мощность перлита на первом участке колеблется от 6 до 15 м, вскрышных пород

от 0,3 до 3 м. По химическому составу породы относятся к липариту. Вулканические стекла представлены хрупкой породой брекчиевидного строения. Ниже перлита залегает агломератовый туф. Второй участок расположен в 1,5 км к западу от описанного участка непосредственно у с. Счастливое. Здесь перлитовое тело вскрыто на протяжении 15 м. Площадь распространения перлита составляет около 250 м<sup>2</sup>. Перлит серый, шестоватой текстуры; в виде включений содержит мелкие обсидиановые ядра. Подстилающей породой являются агломератовые туфы.

Третий участок находится на 2 км севернее второго. Перлитовая залежь вскрыта небольшим карьером глубиной около 3 м. Петрографически перлит аналогичен описанному выше.

О строении перлитового тела по вертикали можно судить на основании геологического разреза скважины: 0,0—10,00 м перлит, 10,0—13,50 м агломератовый туф. Мощность перлита составляет 10,0 м. Вулканические стекла относятся к липаритам. Они обладают темно-серой окраской и матовым стекляннным блеском. Структура основной массы витрофирировая, участками сферолитовая. Вкрапленники представлены таблитчатыми и удлиненными кристаллами плагиоклаза (андезина) размером от 0,5 до 2,0 мм и чешуйками биотита от 0,5 до 1,0 мм в поперечнике. Содержание вкрапленников не превышает 5—9%.

Неизмененное стекло основной массы составляет 91—95%. В нем присутствуют кристаллиты, представленные белонитами, лонгулитами, маргаритами и трихитами. Содержание воды в стекле колеблется от 3,0 до 3,5%.

В 1966 г. были проведены работы в районе с. Микуловцы (два участка). Вулканические стекла непосредственно у с. Микуловцы имеют светло-серый цвет, перламутровый, часто стекляннный блеск. Структура витропорфирировая, местами сферолитовая. Текстура основной массы флюидальная, реже перлитовая. Содержание (в объемн. %): вулканического стекла 92—95, вкрапленников 5—8. Стекло включает значительное количество кристаллитов, располагающихся неравномерно и группирующихся в полосы. Кристаллиты представлены белонитами, лонгулитами, маргаритами и трихитами, наблюдаются также микролиты апатита, биотита и рудного минерала. Вкрапленники образованы плагиоклазом (лабрадором и андезин-лабрадором) и биотитом.

Перлиты второго участка (урочище Млачки) обладают аналогичным химическим составом (табл. 1). Цвет серый, блеск стекляннный. Породы содержит многочисленные ядра обсидиана, погруженные в основную массу светло-серого стекла. Показатель преломления серого стекла 1,498. Зерна обсидиана под бинокулярной лупой обладают изометричным обликом и достигают в диаметре в среднем 2 мм, иногда 4—5 мм. Показатель преломления обсидиана 1,493. Количественный состав породы (в объемн. %): стекло 90—96, вкрапленники 4—10.

Вулканические стекла месторождений Счастливое и Микуловцы представляют собой новую перспективную сырьевую базу перлитового сырья высокого качества в Закарпатье. Геологические условия позволяют вести разработку на глубину 10—15 м при вскрыше 0,5—3,0 м. Перлит этих месторождений хорошо вспучивается в промышленных условиях (табл. 2).

Высокий коэффициент вспучиваемости перлита достигается без предварительной термоподготовки.

Приведенная характеристика вулканических стекол месторождений Счастливое и Микуловцы показывает получение легкого вспученного материала с объемным весом от 60 до 120 кг/м<sup>3</sup>, пригодного для широкого производства различных теплоизоляционных материалов и изделий. Вулканические стекла исследованного района также могут слу-

Таблица 2

## Результаты технологических исследований перлита

Месторождение	Порода	Геологический возраст	Содержание воды, %	Размер обломков, мм	Время обжига, сек	Температура, °С	Объемный вес вспученного перлита*, кг/м <sup>3</sup>
Счастлиное	Перлит	Верхний плиоцен	2,8	1—3	15—30	950—1000	100—130
Микуловцы (1-й участок)	»	То же	2,5	1—3	15—30	950—1000	85—100
Микуловцы (2-й участок)	»	»	3,0	1—3	15—30	950—1050	100—130
То же	Обсидиан	»	0,5—0,86	1—3	15—30	1000—1100	120—140
Герцовское	Перлит	»	2,4	1—3	20—30	1150	130—150

\* Гранулометрический состав вспученного перлита характеризуется следующими количественными соотношениями частиц различного размера (в мм): 2,5—0,5%; 1,25—21,3%; 0,6—55,5%; 0,31—12,8%; 0,14—7,0%.

жить сырьем для получения фильтроперлитовых порошков. Однако для получения более надежных критериев оценки сырья необходимо продолжить геологические и технологические исследования.

Научно-исследовательский институт  
строительных материалов и изделий (г. Киев)

Ф. И. КОВАЛЬСКИЙ, С. В. КОСТРОМИН, Л. Н. КОСТРОМИНА

### ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ ЗАБАЙКАЛЬЯ

Месторождения перлитов Забайкалья генетически связаны с мезозойским вулканизмом. Поля распространения мезозойских эффузивов окаймляют тектонические впадины, выполненные угленосными молласоидами верхнеюрского-нижнемелового возраста. Некоторые мелкие впадины (Мухор-Талинская и др.) заполнены осадочно-вулканогенными образованиями. В результате работ последних лет выяснено, что кислые вулканические стекла локализуются в пределах двух свит — ичетуйской и удинской, возраст которых определяется соответственно как нижне-среднеюрский и средне-верхнеюрский. Наиболее крупные и лучше изученные месторождения вулканических стекол (район Мухор-Талы, Холлинская группа перлитопроявлений, Закультинское месторождение) связаны с эффузивами удинской свиты. Определения абсолютного возраста пород Мухор-Талинского месторождения калий-аргоновым методом показали колебания от 90 до 244 млн. лет. На основании этих данных вулканические породы Мухор-Талы могут быть отнесены к верхней половине юрской системы.

В Восточном Забайкалье, судя по опубликованным в литературе данным, проявления и месторождения вулканических стекол по своему

возрасту тяготеют к верхам мезозоя. Не исключено, что в пределах Читинской области развиты месторождения и более молодые, чем верхнеюрские, например месторождения района Нерчинского завода, условно датированные нижним мелом.

Большинство месторождений Восточной Сибири представлено перлитами кислого состава (см. таблицу).

**Химический состав (в вес. %) пород месторождений вулканических стекол Восточной Сибири**

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	69,16	68,90	73,28	71,58	70,59	70,55	72,58	67,93	76,12	64,65
TiO <sub>2</sub>	0,07	Следы	0,27	0,23	0,36	0,30	0,18	0,22	0,10	0,47
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,79	14,64	14,14	11,48	12,05	13,93	13,69	13,38	13,00	15,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + FeO	1,78	1,34	1,27	2,46	1,65	3,48	1,81	1,90	1,75	2,90
MnO	0,07	0,08	0,05	0,04	0,02	0,12	0,05	0,40	0,12	0,18
CaO	0,84	2,03	0,74	0,94	1,35	1,16	0,71	2,28	0,36	2,60
MgO	—	0,70	0,33	0,16	0,17	1,16	0,28	0,41	0,12	0,59
K <sub>2</sub> O	4,04	2,74	4,60	4,21	4,41	4,31	3,89	5,15	5,50	4,10
Na <sub>2</sub> O	4,00	2,79	4,00	2,72	2,14	2,27	2,92	2,87	2,01	3,16
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0,07	0,02	0,02	0,03	0,13	0,05	—	—	—
П.п.п.	6,31	7,12	0,24	5,96	7,38	3,81	4,50	5,01	0,16	6,70
Сумма	100,06	100,41	98,94	99,80	100,07	101,22	100,66	99,55	99,24	100,41

1—перлит, Мухор-Тала; 2—перлит, Мухор-Булык; 3—липарит, там же; 4—черный перлит, Закульта; 5—зеленый перлит, там же; 6—липарит, Дучарское; 7—липарит, Аргунское; 8—перлит, Холинское; 9—липарит, там же; 10—перлит, Мухор-Шибирская группа.

Мухор-Талинская группа месторождений объединяет следующие участки распространения вулканических стекол: Мухор-Талинский, Мухор-Булыкский, Барун-Аршанский, Аршанский — I, Аршанский — II, Цаган-Хунтейский и некоторые другие. Лучше других изучены и разведаны первые три.

Вулканические стекла в районе Мухор-Талы были впервые описаны А. А. Арсеньевым в 1940 г. Начиная с 1958 г., геологические исследования в этом же районе проводятся И. В. Беловым и Н. Я. Волянюком. В 1959 г. Мухор-Талинское месторождение изучалось В. В. Наседкиным. С 1958 г. по настоящее время геологоразведочные работы на месторождениях Мухор-Талинской группы осуществляются Селенгинской экспедицией Бурятского геологического управления.

Вулканические стекла подстилаются мощной пачкой витрокластических туфов и брекчиевых лав, нижняя часть которых монтмориллонитизирована. Мощность этих пород составляет 120 м. В плане перлиты образуют сплошную стекловатую оторочку вокруг липаритовых тел, отходящих от предполагаемого центра растекавшегося купола. Однако по мере приближения к центру извержения (гора Барун-Аршан) стекловатая зона под липаритами исчезает и последние залегают непосредственно на монтмориллонитизированных витрокластических агломератовых туфах.

Макроскопически среди вулканических стекол выделяются следующие разновидности: а) зеленый и темно-зеленый перлит с отчетливой полосчатостью; б) светло-зеленый и темно-зеленый массивный перлит; в) красновато-коричневый и оранжево-красный перлит с четкой перлитовой отдельностью; г) черный массивный перлит, содержащий вкрапления.

Наибольшим распространением пользуются вулканические стекла зеленого цвета. В них почти совершенно отсутствуют порфиновые выделения. Под микроскопом видно, что полосчатость породы обусловлена линейным распределением микролитов пироксена и магнетита. Красно-бурая окраска стекол связана с окислением магнетита, содержащегося в породе. Причем линзообразные выделения гидроокислов железа обычно вытянуты согласно флюидальности стекла. Перлиты черной окраски пользуются ограниченным распространением. Вулканическое стекло этого типа устанавливается среди некоторых разновидностей витрокластических туфов, а на Мухор-Булыкском участке оно образует маломощные дайки, секущие зеленые перлиты. В черном стекле содержатся фенокристаллы плагиоклазов, биотита, реже пироксена. Их количество может достигать 8—10%.

Петрографическое изучение вулканических стекол показывает, что они обычно содержат кристаллические образования, причем кристаллизация стекол началась в период остывания лавы и продолжалась во время ее охлаждения (девитрификация, Наседкин, 1963).

Наличие в стекле кристаллических агрегатов различного типа определяет неравномерную вспучиваемость перлитов рассматриваемого месторождения.

Формирование Мухор-Талинского экструзива, по-видимому, происходило в несколько стадий. В начальную стадию извержения вулкана имело место медленное выжимание купола, сопровождающееся образованием купольной брекчии и периодическими выбросами раскаленных агломератовых лавин. Купольная брекчия и агломератовый туф состоят почти нацело из обломков кислого вулканического стекла, и лишь в низах этой довольно мощной (до 120 м) толщи встречаются обломки трахитовых пород.

Постепенно скорость выжимания купола возрастает, и, наконец, он растекается, удаляясь от кратера иногда на расстояние до 3 км (вторая стадия). При этом в тех местах, где лава ложится на относительно холодную поверхность, в нижних частях ее образуется стекловатая зона, мощность которой достигает местами 30—35 м. Работами последних лет установлено, что на севере Мухор-Булыкского участка развиты перлиты, практически не содержащие микролиты и продукты расстеклования и пригодные для получения вспученного песка с насыпным весом 80—100 кг/м<sup>3</sup>.

Почти все участки Мухор-Талинского месторождения имеют промышленное значение. По последним данным, запасы Мухор-Талинского и Мухор-Булыкского участков оцениваются в 8 млн. м<sup>3</sup>, а общие перспективы этого района, видимо, превышают 12—15 млн. м<sup>3</sup>.

Расширение перспектив промышленного использования месторождений связано не только с увеличением запасов сырья. Перлиты и сопутствующие им породы (туфы, липариты и т. д.), а также некондиционные сорта вулканических стекол могут быть применены в качестве активных минеральных добавок в цементы, при производстве пеностекла и минеральной ваты, кампорита, легких высокопрочных бетонов и т. д.

Месторождения Мухор-Шибирской группы выявлены в процессе производства геолого-съёмочных и поисковых работ партиями Бурятского геологического управления в южных отрогах хребта Цаган-Дабан, обрамляющего с севера Тугнуйскую депрессию. Месторождения перлита приурочены к вулканикам ичетуйской свиты. Из 12 участков наиболее крупными являются Шенестуйский, Брянский, Спасский, Нарин-Шибирский и Дабатский.

Вулканические стекла месторождений Мухор-Шибирской группы обладают черным цветом, матовым и смоляным блеском, раковистым и скорлуповатым изломом. Почти для всех разновидностей характерна



витропорфировая структура. Наиболее часты фенокристаллы калишпата, кислого плагиоклаза, биотита, амфиболов, реже отмечаются пироксен и кварц. Текстура флюидальная и перлитовая. Наряду с массивными перлитами развиты и их брекчиевидные разновидности, а также типичные сваренные витрокластические туфы линзовидно-полосчатого строения. Вторичная девитрификация в перлитах проявлена повсеместно, но неравномерно. Минералогически вторичные изменения перлитов близки к мухор-талинским. Вулканические стекла образуют пластообразные залежи, дайки, небольшие штоки. По составу некоторые разновидности перлитов относятся к липарито-дацитовым образованиям (см. таблицу).

Разведанные запасы перлитов всех месторождений Мухор-Шибирской группы составляют 400—500 тыс. м<sup>3</sup>. Однако эту цифру, вероятно, следует рассматривать как минимальную.

Изучение технологических свойств мухор-сибирских перлитов показало, что в лабораторных условиях из них можно получить вспученный щебень (фракция 7—10 мм) с насыпным объемным весом 180—450 кг/м<sup>3</sup> и песок (фракция 0—2 мм) — 200—480 кг/м<sup>3</sup>. По степени вспучиваемости лучшими являются вулканические стекла Шенестуйского, Нарин-Шибирского, Наринского и Брянского участков. Дополнительное изучение этих объектов, если это будет необходимо, следует провести в первую очередь.

Холинская группа перлитопоявлений выявлена работами геологических партий бурятского геологического управления в 1963 г. Перлитовые проявления приурочены к юго-восточному обрамлению Кудунской межгорной впадины (верховья р. Кудун, левого притока р. Уды). Пространственно они связаны с осадочно-эффузивными образованиями удинской свиты, низы которой представлены конгломератами мощностью до 200 м, а верхняя часть сложена вулканогенными породами.

Вулканические стекла образуют шесть отдельных тел и подстилаются мелкообломочными туфами кислых эффузивов. Перлиты имеют черный, зеленый, буровато-красный цвет, смоляной и стеклянный блеск, раковистый излом. Полосчатость перлитов обусловлена чередованием линейно-вытянутых участков гомогенного стекла с участками, обогащенными микролитами. Порфиновые вкрапленники в перлите отсутствуют, но отмечаются сферолиты, сложенные слабоиндивидуализированным минеральным агрегатом. Обычно они покрыты корочкой светло-бурого глинистого материала.

Тела перлитов в плане имеют линзообразную форму и близкое к горизонтальному залегание. Мощность перлитов до 26 м. Вулканические стекла перекрываются липаритами, которые по составу, структурным особенностям и даже внешнему виду аналогичны липаритам Мухор-Талы. Несмотря на недостаточную геологическую изученность района Холинских проявлений, структура вырисовывается достаточно четко. Залежи вулканических стекол здесь тесно связаны с растекшимися экструзивными куполами липаритов. Таких куполов, по-видимому, было два. Тектонически они приурочены к системе разломов северо-восточного и субширотного простирания.

Технологические испытания перлитов в небольших объемах проведены в лаборатории Бурятского геологического управления. Установлена возможность получения вспученного перлитового щебня (размер обломков 10—20 мм) с объемным весом 300—400 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент вспучивания составляет в среднем 4,5. Предварительно запасы вулканических стекол оцениваются в 8—10 млн. м<sup>3</sup>.

Перлитовые проявления, приуроченные к верхней части разреза удинской свиты, выявлены в бассейне рек Зун-Эгита и Маракта, правых притоков р. Уды. Здесь обнаружены три линзовидных тела мощностью 1—2 м. Длина залежей достигает 160 м. Кислые вулканические стекла зеле-

ного цвета с эмалевидным блеском. Для них характерны перлитовая текстура и полосчатость. Рассматриваемая территория весьма перспективна на промышленные месторождения вулканических стекол.

Закультинская группа месторождений расположена в пределах южных отрогов хребта Цаган-Хуртей. В бассейнах рек Закульта, Мухор-Шибирь, Шиля, Гонгота и Бугутуй, впадающих в р. Хилок, обнаружено свыше 20 выходов перлитов, которые впервые были описаны В. Н. Антипиным (1958).

Эффузивные образования удинской свиты, в составе которой большую роль играют кислые эффузивы, их туфы и вулканические стекла, слагают бортовую часть Хилокской депрессии, ограниченной с северо-востока Цаган-Хуртейским поднятием. Наиболее крупное и наиболее изученное по сравнению с другими проявлениями Закультинское месторождение состоит из двух участков: № 1 и № 2. Основные запасы сырья сосредоточены на участке № 2.

Перлиты участка № 2 образуют вытянутые в плане тела субширотного простирания длиной 500—800 м, шириной до 300 м. По данным буровых работ, мощность залежей от 8 до 16 м, в отдельных случаях — 33,4 м. Вулканические стекла сильно изменены. По мере приближения к контакту с вышележащими липаритами и их туфобрекчиями в них появляются участки фельзита. Контакты перлита с фельзитом нечеткие, постепенные. Все разновидности вулканических стекол имеют витрофировую и витропорфировую структуру. Вдоль трещинок стекло превращается в микрофельзитовый агрегат. Из вторичных минералов в перлите присутствуют монтмориллонит и цеолиты. Пустоты заполнены опалом и халцедоном. Формирование вулканических стекол связано с растеканием липаритового экструзивного купола.

На участке № 1 вскрыты (выработками и в коренных обнажениях) два крупных тела, из которых одно сложено черным вулканическим стеклом, а другое — зеленым. Оба тела вытянуты в северо-восточном направлении на 500 и 800 м, ширина их выхода на поверхности не превышает 70 м. Крутые углы наклона (до 60°) контактов обоих залежей позволили предположить дайкообразный характер залегания вулканических стекол (Наседкин, 1963).

Технологическими испытаниями доказана возможность получить из перлитов Закультинского месторождения вспученные материалы. В **заводских условиях** (г. Шелехово, Иркутской области) были получены вспученный щебень (фракция 10—20 мм) с насыпным объемным весом 400—500 кг/м<sup>3</sup> и песок (фракция 0—5 мм) 330—580 кг/м<sup>3</sup>.

По результатам предварительной разведки, проведенной Читинским геологическим управлением, запасы перлита на участках № 1 и 2 были ориентировочно подсчитаны в объеме около 4,2 млн. м<sup>3</sup>. Эта цифра, по-видимому, значительно занижена, так как только за счет доразведки участка № 2 можно их по меньшей мере удвоить. В целом же суммарные запасы перлитов этого района по прогнозной оценке не уступают запасам Мухор-Талинской группы месторождений.

В Читинской области кроме Закультинского месторождения известны еще некоторые месторождения перлита. Однако изучены они недостаточно. Наиболее крупные проявления перлита локализуются в Нерчинско-Заводском районе. В частности, на левобережье р. Аргуни, в ее среднем течении, выявлены два перспективных на перлит участка: Ильинский и Тарасовский. Эффузивы залегают среди нижнемеловых осадочно-эффузивных образований, выполняющих Приаргунский грабен. Довольно широко здесь распространены липариты, занимающие площадь в несколько квадратных километров.

Липариты относятся к витрофировым разновидностям. Довольно многочисленны вкрапленники (10—15%) представлены биотитом, калие-

вым полевым шпатом, роговой обманкой и кварцем. Размеры фенокристаллов достигают 3 мм. Для стекловатой основной массы характерна перлитовая текстура. По текстурным признакам выделяются массивные витрофиры и брекчиевидные, причем вторые встречаются в краевой и нижней частях липаритовых тел. Запасы стекловатых липаритов Аргунского месторождения ориентировочно составляют более 10 млн. м<sup>3</sup>. На основании технологических испытаний отдельных лабораторных проб с Ильинского участка установлено, что коэффициент вспучиваемости этих пород равняется 6—7. Объемный насыпной вес щебня (фракция 5—10 мм) составляет 285—375, редко 415 кг/м<sup>3</sup>, а насыпной вес песка (фракция 0—1 мм) — 198—234 кг/м<sup>3</sup>. Содержание воды в этих породах составляет 8—9% веса, поэтому перед вспучиванием перлиты следует подвергать предварительному обжигу при температуре 300—400°.

Стекловатые липариты и перлиты залегают в некоторых районах Читинской области: северо-восточней с. Дучары (Калганский район), в Улетовском районе (Яндонское и Шебартуйское проявления), в окрестностях горы Сохондо, в верховьях р. Хилок, окрестностях Оленгуйского бурогольного месторождения и др. И. И. Катушенов и М. С. Нагибина (1937) описали в Верхне-Урюмканском районе покровы пехштейнов среди поля кварцевых порфиров (Ташкинское проявление). Пехштейны обладают перлитовой текстурой, светлоокрашены и содержат лейсты плагиоклаза, чешуйки хлорита и серицита. В них обнаруживаются многочисленные пустотки, выполненные щеточками горного хрусталя или опалом.

Таким образом, для месторождений кислых вулканических стекол и стекловатых пород Забайкалья характерна постоянная связь с мезозойскими депрессиями (либо их центральной частью, либо краевыми участками). Кислые эффузивы обычно локализуются в средне-верхнеюрских и реже нижнемеловых породах. В большинстве случаев промышленные месторождения перлита ассоциируются с туфами и липаритами, обычно перекрывающими залежи вулканического стекла. Наряду с покровами, потоками и растекшимися экструзивными куполами широко распространены дайки, штоки, древние жерла вулканов. Дайки и штоки обнаруживают тесную связь с излившимися на поверхность эффузивами.

Прогнозные запасы перлитов Забайкалья на данной стадии их изученности составляют 40—50 млн. м<sup>3</sup>, что позволяет рассматривать группу месторождений Бурятской АССР и Читинской области как крупную сырьевую базу перлитовой промышленности восточных районов страны. В связи с этим расширение разведочных работ с целью увеличить промышленные запасы вулканических стекол, выявить высококачественное сырье, пригодное в первую очередь для производства высокоэффективных теплоизоляционных изделий и фильтров, представляется целесообразным и необходимым.

Бурятское геологическое управление

Р. А. КРЫЛОВ

## ГЕОЛОГИЯ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПРОЯВЛЕНИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ УРАЛА

Уральский регион известен как область широкого развития мощных толщ вулканогенных образований. Наибольший размах вулканической деятельности пространственно связан с Тагило-Магнитогорским эвгеосинклинальным прогибом, заполнявшимся в различные эпохи нижнего и среднего палеозоя продуктами интенсивного вулканизма. Подавляющая масса древних излившихся пород и эксплозивных отложений претерпела палеотипные изменения, которые привели, казалось бы, к полному замещению вулканического стекла вторичными образованиями. Однако при детальном изучении пород в процессе тех или иных геологических исследований (главным образом геологической съемки) местами отмечались реликты стекловатого базиса в основной массе эффузивов, в обломках туфов и т. д. Более того, на всем протяжении Тагило-Магнитогорского прогиба от р. Северной Сосьвы до горной гряды Мугоджар установлены дайки, пластообразные тела и целые комплексы гналосодержащих пород. Отдельные проявления вулканического стекла выявлены и за пределами эвгеосинклинального прогиба, в частности в Мугоджарах (на продолжении Восточно-Уральского поднятия) и на западном склоне Среднего Урала. Большие перспективы для выявления залежей вулканических стекол открылись с началом интенсивного изучения Зауралья, где в субплатформенных структурах широко развиты кайнотипные эффузивы нижнего мезозоя.

Ниже рассматриваются конкретные случаи проявлений стеклосодержащих пород на Урале по материалам геологов Уральского геологического управления, литературным источникам и собственным наблюдениям автора статьи.

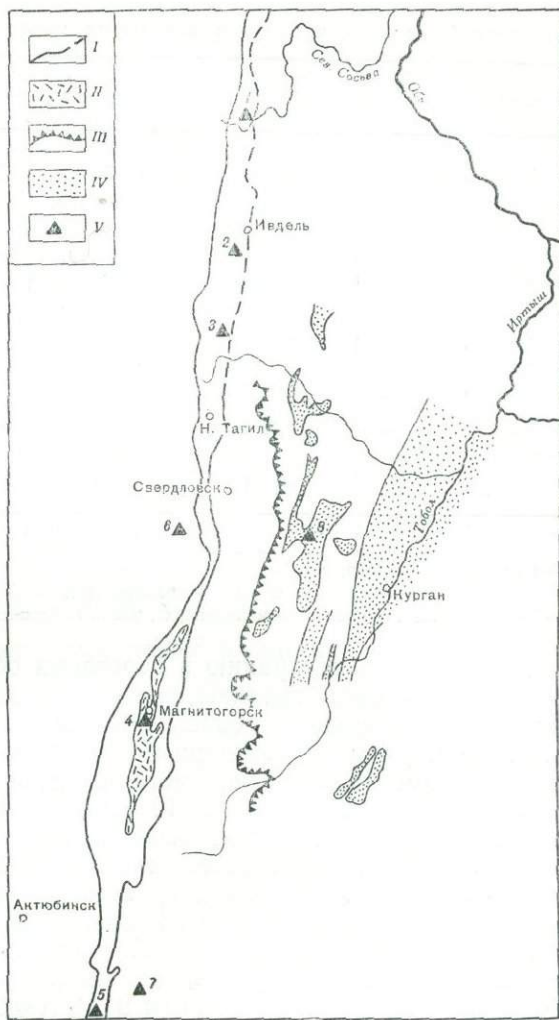
### ПРОЯВЛЕНИЯ СТЕКОЛ ТАГИЛО-МАГНИТОГОРСКОГО ПРОГИБА

Самая северная точка с проявлениями вулканического стекла в пределах данной структуры известна из работ П. П. Генералова и В. А. Сигова (УГУ) в районе пос. Няксимволь на р. Нохор (карта). Среди франских кератофиров и их туфов в одном из обнажений встречена дайка черного обсидианоподобного витрофира широтного простиранья. Во вкрапленниках присутствуют зональный плагиоклаз (лабрадор № 56 — в ядре и андезин № 43—46 — на периферии) и клинопироксен. Стекло желто-зеленого цвета занимает 90% объема породы. Химический состав породы близок к альбитофиру (см. таблицу, обр. 1). Породы, вмещающие дайку, описаны Н. А. Сириным (1962) под названием кварцевых альбитофиров и отнесены им к фаменскому ярусу. Макроскопически это светло-серые, слегка лиловые плотные породы с раковистым занозистым изломом. Вкрапленники альбита, альбит-олигоклаза и кварца погружены в бурое стекло с показателем преломления ниже, чем у канадского бальзама. Стекло часто содержит чешуйки серицита, хлорита и пылевидные зерна рудных минералов. Нередко основная масса сложена микрофельзитом, обтекающим вкрапленники. Содержание вкрапленников колеблется от 5 до 21,6% общего объема породы.

В Ивдельском районе на р. Шегультан встречены гналобазальты, переслаивающиеся с пластами туфа, в виде выходов протяженностью

100—120 м (Авдонин, 1963). Мощность отдельных прослоев туфа 1,5—3 м, гиаლობазальта 1—2 м. Туф представляет собой скопление слабо сцементированных обломков гиаლობазальта размерами до 5—6 см, редко — до 2 м. Наряду с обломками в туфе встречаются вулканические бомбы размером от 10 до 30 см. Гиаლობазальты на 31—47% состоят из лабрадора, 2—16% из моноклинового, реже ромбического пироксена и на 44—65% из стекла. В незначительном количестве отмечены кварц, халцедон, хлорофенит и кальцит. Для туфа характерен палагонит. Стекло макроскопически черное, в шлифе обладает светлой буровато-зеленой окраской. При нагревании до 500—600°С выделяется растворенная в стекле вода, а при прокаливании до 1000°С гиаლობазальт вспучивается. Стекло местами раскристаллизовано. Химический состав гиаლობазальтов и стекла приводится в таблице (Авдонин, 1963).

Группой исследователей (Ю. Г. Крежевских, В. В. Шалагиновым и Р. Д. Калугиной, Уральское геологическое управление) в бассейне р. Ляли встречены базальтовые стекла среди вулканогенных отложений верхнего венлока — нижнего лудлоу. Эти породы локализуются в крыльевых частях крупной синклинали. В западном крыле этой структуры в обнажениях по р. Ляле установлены маломощные покровы андезито-базальтовых порфиритов кайнотипного облика. В порфировых выделениях присутствуют лабрадор, моноклиновый пироксен и гиперстен, составляющие соответственно 15—45, 0—15 и 0—5% объема породы. Основная масса обладает витрофировой, гиалопилитовой, интерсертальной и микролитовой структурами. В ее составе кроме лабрадора и клинопироксена присутствует бурое стекло (50—90% объема основной массы). Стекло замещается агрегатом хлорита, лейкоксена и магнетита.



Карта размещения на территории Урала проявлений вулканических стекол

I—границы Тагяло-Магнитогорского прогиба; II—риолит-базальтовая серия визейского яруса (Магнитогорский синклиорий); III—граница площади распространения рыхлых отложений верхнего мезозоя — кайнозоя; IV—риолит-базальтовая серия нижнего мезозоя; V—проявления вулканического стекла: 1—дайка витрофиров среди стеклосодержащих кератофиров; 2—гиаლობазальты на р. Шегультай; 3—кайнотипные андезито-базальты и гиаლობазальты рек Ляли и Бобровки; 4—перлиты в районе г. Магнитогорска; 5—шаровые лавы со стеклом (Мугоджары); 6—гиаლობазальты в районе г. Нязепетровска; 7—витропилариты (Мугоджары); 8—перлиты в районе г. Катайска

Химический состав (в вес. %) вулканических стекол Урала

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub>	66,84	52,35	50,96	52,28	54,76	51,83	51,69	75,03
TiO <sub>2</sub>	0,48	1,26	1,21	1,78	1,13	1,55	2,20	0,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,73	17,22	15,23	14,75	15,17	13,43	14,98	12,60
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,37	3,00	3,40	4,70	1,39	5,68	6,72	0,53
MnO	0,03	0,27	0,21	—	0,08	—	0,14	0,03
FeO	2,13	5,40	6,32	5,27	5,69	4,17	5,05	1,95
MgO	0,11	4,50	4,92	3,25	3,50	3,97	4,09	0,30
CaO	—	9,74	10,13	8,25	7,30	8,22	8,65	0,70
Na <sub>2</sub> O	2,85	1,16	1,48	0,91	2,63	1,95	2,65	0,67
K <sub>2</sub> O	0,70	0,56	0,67	1,27	1,63	1,85	1,08	4,94
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	—	0,25	—	—	0,36	—	—
П.п.п.	6,51	5,24	5,80	8,24	6,03	—	2,00	2,79
Сумма	99,35	100,67	100,58	100,70	99,69	99,05	99,25	99,74

1—кварцевый альбитофир, пос. Нексимволь; 2—4—гиалобазальт (2—мелкие обломки из туфа; 3—вулканическая бомба; 4—гомогенное стекло, Ивдельский район); 5—гиалландезито-базальт, бассейн р. Ляли; 6—7—гиалобазальт, Зауралье; 8—гиалолипарит, район г. Китайска

Южнее по простиранию в береговых обрывах р. Бобровки (правого притока р. Ляли) указанные выше исследователи изучили маломощные покровы гиалоандезито-базальтов (см. таблицу, обр. 5). Это — черные плотные породы со стекляннм блеском и раковистым изломом. Под микроскопом видны фенокристаллы лабрадора, клинопироксена и гиперстена (в сумме не более 10—20% объема породы), погруженные в основную массу гиалопилитовой, микролитовой и витрофировой структуры. Основная масса сложена микролитами плагиоклаза и моноклинного пироксена, погруженными в зеленовато-бурое и бурое стекло, занимающее 50—90% объема породы. Стекло обладает хорошо выраженной перлитовой отдельностью. Показатель преломления свежего стекла равен 1,542. По стеклу развивается хлорофит, по трещинам — халцедон, кварц и хлорит. По данным В. Н. Авдонина и Э. Ф. Емелина (1966), вода, растворенная в стекле, выделяется при нагревании до 600—700°.

В восточном крыле отмеченной выше синклиналиной структуры (в 2 км к западу от пос. Старая Ляля) в шурфах вскрыты гиалобазальты стекловатого облика с раковистым изломом. Порфиритовые выделения, по составу аналогичные описанным выше, составляют до 30% объема породы. Структура основной массы витрофировая и очень редко гиалопилитовая. Зеленое стекло оптически изотропно, имеет показатель преломления 1,559. Встречаются сферолиты темно-бурого цвета, сложенные хлорофитом. Химический анализ породы с вкраплениями плагиоклаза (20%) и пироксена (5%) представлен в таблице. Наряду с гиалобазальтами в шурфах встречены бомбовые туфы того же состава.

В южной части Тагило-Магнитогорского прогиба проявления гиало-содержащих пород связаны с излияниями лав в заключительные этапы вулканической деятельности. К этой группе относятся стеклосодержащие эффузивы, описанные А. Н. Заварицким (1922), в окрестностях горы Магнитной среди отложений, ныне относимых к нижнему карбону (см. фиг. 1). В соответствии с принятой в настоящее время стратиграфической схемой (Ферштатер, 1966) вулканические породы Магнитогорского синклинория делятся на три толщи: андезито-базальтовую (среднее визе), липаритовую (средне-верхнее визе) и базальтовую (верхнее визе). Липариты средней толщи часто содержат стекло, постепенно переходящее в микрофельзит. К югу от горы Змеиной в районе г. Магнито-

горска А. Н. Заварицким (1922) были отмечены типичные перлитовые стекла, частью раскристаллизованные в микрофельзит. Кислые витропороды известны еще в ряде участков липаритового покрова. Основные порфириды верхней толщи нередко переходят в гиалобазальты, состоящие на 50% и более из стекловатого базиса, содержащего таблички лабрадора. На южном окончании Тагило-Магнитогорского прогиба, в пределах Мугоджар (см. фиг. 1), проявления вулканических стекол связаны с силурийскими подушечными лавами базальтового и андезитово-базальтового состава. Стекло встречается в межподушечном пространстве в форме небольших эллипсоидных обособлений. В отдельных случаях отмечается исключительная свежесть базиса, имеющего макроскопически зеленовато-серый (до черного) цвет и стекловатый блеск. Под микроскопом в зеленоватом прозрачном стекле видны единичные мелкие таблички плагиоклаза.

Как видно из перечисленных примеров, в пределах Тагило-Магнитогорского прогиба проявления вулканических стекол спорадически приурочены к локальным зонам, отвечающим отдельным структурам, либо стратиграфическим подразделениям.

### ДРУГИЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА

В других структурно-фациальных зонах Уральской геосинклинали вулканические стекла отмечаются лишь в единичных случаях. На западном склоне Урала проявления вулканического стекла изучены И. В. Жилиным и Г. Ф. Селеверстовым (Уральское геологическое управление) среди ордовикского спилито-диабазового комплекса Нязепетровского района. Породы комплекса прослеживаются на протяжении 25 км в виде полосы шириной 500—700 м северо-северо-восточного простирания. Вулканогенная толща сложена диабазами, диабазовыми порфиридами, вариолитами, спилитами и в небольшом объеме кремнистыми сланцами. Гиалобазальты, тесно ассоциирующиеся с диабазами, возможно, являются краевой фацией последних. Между ними установлены постепенные переходы.

Макроскопически гиалобазальты — плотная афанитовая (тахилитовая) порода серовато-зеленого и зеленовато-серого цвета с неровным полураковистым изломом. Под микроскопом видно, что гиалобазальт состоит почти целиком из базисной основной массы с мелкими микролитами эпидотизированного и альбитизированного плагиоклаза, составляющими не более 5% объема породы. Очень редко встречаются единичные фенокристаллы диопсида и плагиоклаза. Буровато-серое стекло слабо поляризует свет. Участками оно эпидотизировано и лейкоксенизировано.

Стекловатые породы распространены в меридионально вытянутых грабенообразных углублениях, осложняющих свод Мугоджарского антиклинория в пределах Восточно-Уральского поднятия. К этим дизъюнктивным структурам приурочены эффузивы риолито-андезитовой формации довизейского времени (Билибина, 1963). Преобладающие в разрезе андезитовые порфириды содержат свежее и разложенное стекло в гиалопилитовой основной массе. В южной части структуры кислые породы слагают покров мощностью свыше 100 м. В покрове переслаиваются риолитовые порфиры, перлиты и пирокласты. Среди вулканических стекол выделяются, с одной стороны, разновидности с множеством кристаллитов и глобулитов и с другой — относительно гомогенные перлиты. В стеклах обеих разновидностей наблюдаются девитрифицированные участки микропайкилитовой и микросферолитовой структур. Среди витрофиров и порфиров часто встречаются породы, содержащие сферо-

литы диаметром до 4 мм, обычно сложенные радиально ориентированными кристаллитами, промежутки между которыми заполнены стеклом и реже микрофельзитом.

Наиболее обширные проявления вулканических стекол приурочены к лавовым покровам нижнего мезозоя, слагающим основание платформенного чехла в Зауралье. Вулканические излияния контрастной риолит-базальтовой серии нижнего-среднего триаса распространены на многие тысячи квадратных километров и достигают мощности 1000—1200 м. Эффузивные толщи выполняют грабены и обширные депрессии в различных частях Зауралья от широты г. Березово до г. Тургая. Подавляющее большинство вулканических излияний перекрыто рыхлыми осадками мезокайнозоя, мощность которых возрастает к востоку. Лишь в западных районах Зауралья, где рыхлые толщи имеют незначительную мощность, эффузивные покровы обнажаются на дневной поверхности. Характерной чертой вулканических пород является их кайнотипный облик при почти полном отсутствии зеленокаменного перерождения. Из общего объема эффузивных пород приблизительно 80% составляют базальты и 20% — липариты. Проявления вулканических стекол в большей мере приурочены к телам основных и в меньшей — кислых пород.

Базальты участвуют в строении лавовых покровов, даек, образуют массивные, брекчиевидные и пирокластические образования. Наиболее распространены базальтовые лавы, формирующие серии многочисленных покровов мощностью от единиц до десятков метров. Типичный разрез покрова начинается снизу толеитовыми базальтами, выше сменяющимися анамезитами и толеитовыми долеритами. В кровле покрова развиваются амигдалоидные базальты с витрофировыми и гиалопилитовыми структурами. Стекло в толеитовых разностях представляет собою гиаломелан, насыщенный черными окислами железа. Объем стекла в породе колеблется от единиц до 15—20%. В витрофировых и гиалопилитовых разностях количество базиса порой превышает половину объема породы, причем количество микролитов обычно невелико, а стекло приобретает как гиаломелановый, так и тахилитовый облик. В отдельных случаях витропороды развиваются несколько ниже амигдалоидной зоны. Вкрапленники в базальтах принадлежат обычно двум генерациям и представлены лабрадором, клинопироксеном, реже ромбическим пироксеном и оливином. Стекло в основной массе темно-бурое, бурое, буровато-желтое, иногда с перлитовыми трещинами. Показатель преломления стекла колеблется от 1,590 и менее — в зависимости от примесей тонкораспыленного минерального вещества. Вторичные образования представлены хлорофенитом (по стеклу, вкрапленникам и в миндаликах), иддингситом (по оливины), цеолитами.

Лавовые брекчии — скопления угловатых обломков гиалобазальтов, сцементированных свежим стеклом того же состава. Эта разновидность вулканических образований пользуется ограниченным распространением и приурочена главным образом к прибортовым частям депрессии. Гиалобазальты в обломках в небольшом количестве содержат вкрапленники и микролиты обычных для этих пород минералов. Основная масса обломков сложена стеклом бурой окраски. Цементирующее обломки стекло отличается особой свежестью и светло-бурой либо желтой окраской. Цемент лавовых брекчий представлен наиболее свежим тахилитовым базальтом. Показатели преломления стекол в цементе и обломках равны 1,590 и несколько менее. Для лавобрекчий характерно развитое по цементу и обломкам палагонитовое вещество. Химическая характеристика гиалобазальтов (см. таблицу, обр. 6—8) приводится на примере амигдалоидного мелкопорфирового базальта с гиалопилитовой основной массой (гиалиновым базисом).



Липариты нижнего мезозоя залегают в виде переслаивающихся с базальтами покровов, иногда образуя огромные поля площадью в сотни квадратных километров, а также экструзивные дайки и купола. Липариты повсеместно представлены порфиоровыми разновидностями с микропойкилитовой, микрофельзитовой, сферолитовой основной массой. Значительно реже встречаются кластолавы, туфы и игнимбриты. Стекловатые породы залегают в кровле покровов, однако далеко не повсеместно. Стекло часто девитрифицировано с образованием криптофельзитового и микросферолитового агрегата. При этом сохраняются ясные признаки перлитовой отдельности. Лавовые породы с сохранившимся стеклом встречены скважиной в районе г. Катайска под мощными отложениями рыхлого мезокайнозоя. В керне скважины ниже сапролита (мощность 1 м) с реликтами невыветрелого стекла прослеживается поток (мощность 7 м) черной перлитовой «икрянистой» лавы с вкрапленниками альбит-олигоклаза. Ниже по разрезу перлиты сменяются девитрифицированными лавами с микросферолитовой и микрофельзитовой основной массой и сферолитами диаметром 5 мм и менее. Сферолиты сложены либо микрофельзитом, либо кристаллитами, погруженными в стекло. Все разновидности насыщены радиально ориентированными иголочками гематита, которые отсутствуют в окружающей основной массе. Ниже по скважине порода приобретает нормальный полифировый облик, обусловленный сериальными вкрапленниками ортоклаза, альбита и кварца, погруженными в микрофельзитовую и микропойкилитовую основную массу. Стекло гиалолипарита в шлифе прозрачное, буровато-желтое с показателем преломления  $1,502 \pm 0,002$ . Оно содержит множество микролитов полевого шпата в форме полых таблиц квадратного сечения. Хорошо выражена перлитовая отдельность. Химический состав гиалолипарита представлен в таблице.

Среди рассмотренных нами проявлений вулканических стекол преобладают породы андезито-базальтового состава. Значительно реже распространены кислые разновидности. Это, по-видимому, обусловлено большей устойчивостью основного стекла в условиях начинающегося метаморфизма. В заключение следует отметить, что несмотря на ограниченность распространения свежих вулканических стекол на Урале некоторые их проявления могут быть в дальнейшем изучены как возможные источники промышленного сырья.

Уральское геологическое управление

К. М. САГАТЕЛЯН

### **ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЛИТОВ, ОБСИДИАНОВ И ЛИПАРИТОВ АРАГАЦСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

Арагацское месторождение кислых вулканических стекол находится в Армении на юго-западных предгорьях горы Арагац, в 4—5 км к северу от ж.-д. станции Артени и Арагац (Закавказская железная дорога). Оно связано со ст. Арагац асфальтированной дорогой протяженностью 5 км.



Вулкан Артени (вершина Мец Артени). Вид с востока

В районе Арагацкого месторождения местность представляет собой слабонаклонное всхолмленное плато, на фоне которого возвышаются конусообразные центры вулканических извержений: Мец (2057 м), Покр Артени (1756,1 м) и др. Морфологически Артени (фиг. 1) представляет новейший куполовидный вулкан. Отдельные детали его строения описаны в работах ряда исследователей (Вегуни, Сагателян, 1964; Сагателян, 1962; Карапетян, Сагателян, 1966).

#### **КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕСТОРОЖДЕНИЯ**

В результате интенсивной вулканической деятельности центра массива Артени образовались огромные скопления кислых вулканических стекол. По данным большинства исследователей извержения происходили в верхнем плиоцене; этот возраст подтверждается также определениями абсолютного возраста калий-аргоновым методом.

По своему генезису вулканические стекла делятся на четыре типа: 1) интрузивные (близповерхностные штоки, лакколиты, дайки); 2) эффузивные (потоки, плато-потоки); 3) экструзивные (купола, трубки взрыва, купольный агломерат); 4) эксплозивные (сваренные и витрокластические туфы), по В. В. Наседкину (1963).

Для Арагацкого месторождения характерны все генетические типы вулканических стекол.

Стекла интрузивного генезиса представлены дайками, являющимися результатом трещинных выжимок. Из-за специфики залегания и ограниченных запасов на Арагацком месторождении они промышленного значения не имеют.

На Арагацком месторождении огромным развитием пользуются вулканические стекла эффузивного генезиса. В результате изливания образовались потоки, которые растекались в разных направлениях в зависимости от морфологии палеорельефа.

Наиболее крупный поток, сложенный перлитами, брекчиями перлитов и обсидианами, начинается в привершинной части Мец Артени и протягивается на 9—10 км до юго-западной границы комплекса. Таким образом, длина этого потока составляет 10—11 км при ширине от 0,8 до 3,2 км. Площадь потока составляет около 20 км<sup>2</sup> при мощности перлитовых пород около 100 м. Этот поток является основным промышленным объектом. Известное в литературе Арагацское месторождение перлитов представляет лишь его часть. Оно занимает площадь 1,54 км<sup>2</sup> и расположено на южном фланге потока.

Другие потоки, сложенные перлитами и обсидианами, залегают на северной части Арагацкого комплекса кислых пород. Они протягиваются на северо-запад и юго-восток на 1,5—2,5 км, а в северо-восточном направлении на 4,5 км. В настоящее время средняя часть последнего потока размыта и в 4—4,5 км к северо-востоку от массива Мец Артени сохранились его реликты в виде трех небольших холмов, сложенных перлитовыми породами и носящих название «Брусок» (площадь 4,2 км<sup>2</sup>).

К югу от Мец Артени отходят потоки как липаритов, так и перлитов. Крупный липаритовый поток начинается с самой вершины вулкана Мец Артени и протягивается в юго-западном направлении на 6 км. Этот поток имеет в ширину максимально 0,4 км при мощности от 3 до 20 м. На восток, непосредственно у привершинной части вулкана, от вышеописанного липаритового потока ответвляется другой поток полосчатых липаритов, который протягивается на 3 км, шириной 150—500 м и мощностью в среднем 8 м.

Третий генетический тип вулканических образований (экструзивы) на Арагацском месторождении представлен куполами липаритов и не имеет промышленного значения.

К эксплозивному генетическому типу относятся перлитовые пески, образовавшиеся в начальную стадию извержения Мец Артени. До появления эффузивных перлитовых песков, по-видимому, занимали значительную площадь. Отдельные части этих отложений сохранились на восточных склонах Мец и Покр Артени, в седловине между ними, а также на северном склоне Мец Артени.

## ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Из описания морфологии вулкана видно, что излияния кислой липаритовой магмы этого вулкана происходили неоднократно и в разных условиях, обусловивших образование разных пород: липаритов, обсидианов, перлитов, а также их пирокластических разностей. Указанные породы аналогичны по составу, но отличны по текстурным и структурным признакам.

Перлиты на Арагацском месторождении в количественном отношении преобладают над всеми другими разностями вулканических пород; залегая в виде потоков, они занимают относительно большие площади. Макроскопически перлиты представлены серыми, светло-серыми, беловатыми, буроватыми и коричневатыми разностями. Эти разновидности помимо цвета отличаются друг от друга также и текстурой. Они бывают плотными, пористыми и флюидальными. Перлиты Арагацкого месторождения характеризуются стекловатым и шелковистым (у сильно пористых разностей) блеском. Под микроскопом перлиты в основном состоят из бесцветного стекла, часто с характерной перлитовой отдельностью (табл., а). Стекло включает кристаллиты и микролиты полевого шпата. Кристаллиты в перлитах представлены маргаритами, лонгулитами. Встречаются единичные литофизы. В стекловатом базисе присут-

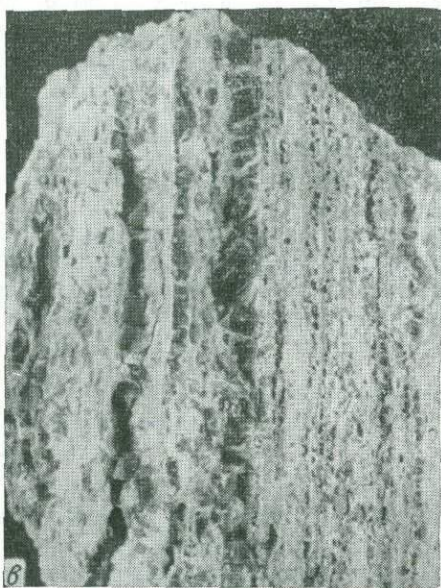
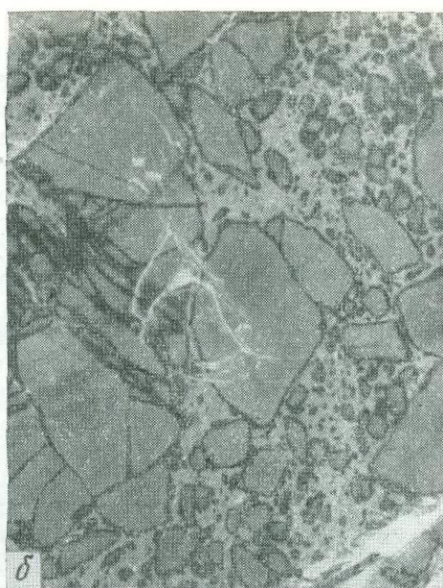
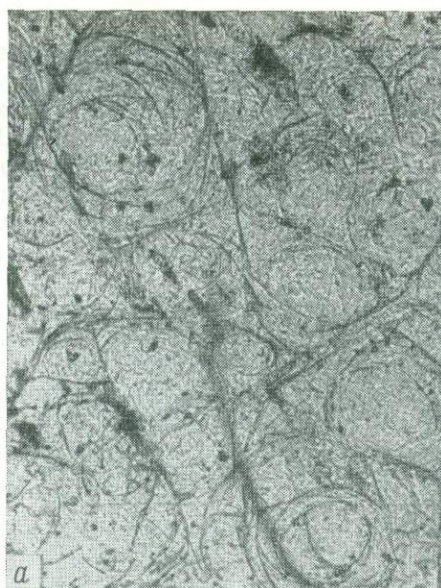


Таблица. Вулканические породы Артени

*a*— перлитовая отдельность в стекле. Без анализатора, увел. 70; *б*— обсидиан с брекчиевой текстурой. Natur. вел.; *в*— мареканит, видно полосчатое распределение обсидиана (темное) в перлите. Natur. вел.; *з*— полосчатый липарит. Natur. вел.

ствуют также кристаллы плагиоклаза, биотита, кварца и рудного минерала. Стекловатый базис (светопреломление  $1,495 \pm 0,03$ ) составляет более 95% всей породы, лейсты плагиоклаза — приблизительно 2%, биотита 0,2%, кварца 0,08% и рудного минерала 0,5%. Последний представлен в основном мельчайшими кристалликами гематита, инкрустирующими стенки пор. Микропоры (0,01—0,03 мм) в Арагацских перлитах занимают около 15% площади шлифа. Форма их различна: шелевидная, грушевидная, реже округлая. В порах содержится довольно значительное количество летучих компонентов.

Таблица 1

Химический состав (вес. %) пород Артени\*

Компонент	1	2	3	Компонент	1	2	3
SiO <sub>2</sub> . . . .	72,41	73,99	73,81	CaO . . . . .	1,12	1,12	1,00
TiO <sub>2</sub> . . . .	0,02	Следы	0,06	Na <sub>2</sub> O . . . . .	4,13	4,32	4,13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	13,43	13,46	13,85	K <sub>2</sub> O . . . . .	3,80	4,11	3,05
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	0,59	0,48	0,55	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	0,06	0,01	0,01
FeO . . . . .	0,70	0,84	0,88	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	0,22	0,15	0,15
MnO . . . . .	0,08	0,08	0,08	П.п.п. . . . .	3,21	1,27	1,55
MgO . . . . .	0,17	0,18	0,20				
				С у м м а	99,62	100,01	99,32

1 — перлит (среднее из 89 проб); 2 — обсидиан (то же из 15); 3 — липарит (то же из 21).

\* Анализы произведены в Институте геологических наук АН АрмССР и Управлении геологии АрмССР.

Исследования состава газов в стеклах показали, что удельное газосодержание в перлите варьирует от 18,6 до 24,0 см<sup>3</sup>/кг. Для летучей фазы характерны следующие количественные соотношения: H<sub>2</sub>O 45,2—73,0; CO<sub>2</sub> 5,9—47,8; H<sub>2</sub> 1,1—2,4; N<sub>2</sub> 7,0—17,9; He+Ne следы; Ar+Kr+Xe следы (Наседкин, 1963).

На основании этих исследований установлено, что для перлитов Арагацкого месторождения характерно содержание летучих компонентов порядка 4—6%, причем газы составляют примерно 48—50% общего количества летучей фазы.

Нами произведено детальное опробование перлитовых пород Артени. Средние содержания породообразующих окислов по 89 полным силикатным анализам представлены в табл. 1.

Полуколичественные спектральные анализы приводятся в табл. 2.

Обсидианы пространственно и генетически тесно связаны с перлитами. На площади Арагацкого месторождения они обнажаются в виде линз, прослоев среди перлитов и липаритов, а также повсеместно в виде мелких обособлений. Размеры обсидиановых выходов различны — от нескольких до сотен тысяч квадратных метров. Мощность обсидиановых тел колеблется от миллиметров до 50 м и выше (разведанный участок). Обсидиан макроскопически смоляно-черный, светло-бурый, дымчато-бурый, бурый, серый и коричневый. Нередко обсидианы разного цвета встречаются совместно, и тогда порода приобретает неравномерно-пятнистую окраску, иногда с брекчиевой текстурой (табл., б). Встречаются также обсидианы, где разности различного цвета образуют флюидальные втеки. Излом обсидианов обычно раковистый. Среди черных обсидианов встречаются две разновидности — мутная и блестящая. Разведанный Артенийский обсидиановый участок Арагацкого месторождения сложен лишь черными блестящими обсидианами. В остальных обсидиановых телах нет особой закономерности во взаимоотношениях стекол разных цветов. Стекло блестящих разновидностей обсидианов просвечивает даже при толщине обломка в 4 см, а мутные разности совершенно непрозрачны. Это объясняется внутренним строением стекла: блестящие разности обсидиана представлены гомогенным аморфным стеклом (при отсутствии кристаллитов или малом их количестве), а мутные — раскристаллизованным и сферолитовым стеклом.

Состав обсидианов Арагацкого месторождения по отобраным нами пробам из пород всех крупных обсидиановых потоков приведен в табл. 1.

Таблица 2

Распределение (в %) редких и рассеянных элементов в породах Аргени

Порода	Число проб	Ni	Co	Ti	V	Cr	Mo	W	Zr	Nb	Cu
Перлит . . . .	98	0,0003—0,001	0,001	0,03—0,3	0,001—0,003	0,0003—0,001	0,001—0,003	0,003	0,003—0,01	0,001—0,003	0,0003—0,002
Брекчия перлита	60	0,0003	0,001	0,03—0,3	—	0,0003—0,001	0,001—0,003	—	0,003—0,01	0,001—0,003	0,0003—0,003
Обсидиан . . .	27	0,0003—0,001	0,001	0,03—0,3	—	0,0003—0,001	0,001—0,003	—	0,003—0,01	0,001—0,003	0,0003—0,01
Липарит . . .	75	0,0003—0,001	0,001	0,03—0,3	—	0,0003—0,001	0,0003—0,003	—	0,003—0,03	0,001—0,003	0,0003—0,002

Порода	Число проб	Pb	Ag	As	Zn	Ga	It	Ib	Sr	Ba	Li	P	Be
Перлит . . . .	98	0,003—0,01	0,0001— 0,001	0,01	0,001— 0,003	0,001— 0,01	0,001—0,01	0,0003— 0,001	0,01— 0,03	0,003— 0,1	0,003—0,03	0,03	0,0003— 0,002
Брекчия перлита	60	0,003—0,01	0,0001— 0,002	—	0,001— 0,01	0,001— 0,01	0,001—0,01	0,0003— 0,001	0,01— 0,03	0,001— 0,1	0,003—0,03	—	0,0003— 0,003
Обсидиан . . .	27	0,003—0,01	0,0001— 0,001	—	0,001— 0,01	0,001— 0,01	0,002—0,01	0,001— 0,003	0,01— 0,1	0,003— 0,1	0,003—0,01	0,03	0,0003— 0,003
Липарит . . .	75	0,001—0,01	0,0001— 0,0003	—	0,001— 0,01	0,001— 0,01	0,001—0,01	0,0003— 0,001	0,01— 0,03	0,001— 0,1	0,0005—0,03	—	0,0003— 0,01

Средний удельный вес обсидианов составляет  $2370 \text{ кг/м}^3$ , объемный вес  $2360 \text{ кг/м}^3$ , пористость  $0,51\%$ .

На Арагацком месторождении встречается мареканит — порода с неравномерным распределением воды. Для него характерны включения плотного обсидиана в массе пористого, природно вспученного перлита. Массивное стекло образует неправильные обособления или полости толщиной от долей миллиметра до сантиметров (табл., в). В мареканитах Арагацкого месторождения массивное стекло относится к обсидиановому типу (содержание воды менее  $1\%$ ), а пористое — к перлитовому (содержание воды до  $3,5\%$ ).

Липариты (см. табл. 1) на Арагацком месторождении представлены двумя разновозрастными типами: ранние липариты подстилают перлитно-обсидиановую толщу, а более поздние, образовавшиеся в последние циклы извержения, в виде покровов перекрывают стекловатые породы. Макроскопически липариты — светло-серые или белые, большей частью полосчатые породы с шелковистым отливом, вызванным флюидальным расположением микролитов полевого шпата. Флюидальные полосы имеют разную толщину от долей миллиметра до  $1,5 \text{ см}$  (табл., г). Под микроскопом структура липарита большей частью витрофировая, порфировая, местами афировая, с микрофельзитовым, фельзитовым и гранофировым строением основной массы. У флюидальных разновидностей наблюдается закономерное чередование полосок разной окраски и структуры. Одни полоски, имеющие грязновато-желтую окраску, сложены кислым стеклом и некоторым количеством мельчайших кристаллов плагноклаза. Другие — сферолитовыми агрегатами цепочечного строения. Вкрапленники в породе, как правило, немногочисленны и представлены главным образом кварцем, реже встречаются кислым плагноклазом (олигоклазом). Цветные минералы встречаются редко и представлены биотитом, роговой обманкой и пироксеном. Среди липаритов присутствуют плотные, пузыристые и пористые разновидности. В полустекловатых разновидностях пород Арагацкого месторождения также встречаются различные по морфологии сферолитовые образования.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Поисково-разведочные работы на площади Арагацкого месторождения кислых вулканических стекол были начаты в 1957 г. В результате этих поисковых работ нами были оконтурены перспективные площади, сложенные высококачественным перлитовым сырьем, а в 1959 г. нами был разведен Артенийский обсидиановый участок. По данным разведочных работ подсчитаны и утверждены Территориальной комиссией по запасам перлиты Арагацкого месторождения в следующих количествах: по категории А —  $1259431 \text{ м}^3$  ( $2392919 \text{ т}$ ), В —  $12811228 \text{ м}^3$  ( $24341334 \text{ т}$ ),  $C_1$  —  $10070111 \text{ м}^3$  ( $19133211 \text{ т}$ ). Суммарные запасы А+В+ $C_1$  составляют  $24140771 \text{ м}^3$ , или  $45867465 \text{ т}$ . Запасы Артенийского обсидианового участка Арагацкого месторождения подсчитаны по категории А в количестве  $1076160 \text{ м}^3$ , или  $2539737 \text{ т}$ .

Арагацское месторождение является самым крупным перлитовым месторождением Советского Союза и одним из крупнейших месторождений мира. Разведанные и подсчитанные запасы являются лишь незначительной частью всех запасов месторождения. Прогнозные запасы месторождения исчисляются миллиардами кубических метров и практически неисчерпаемы. Горно-технические условия эксплуатации Арагацкого месторождения исключительно благоприятны: вскрыша почти отсутствует (мощность наносов  $0,2$ — $0,3 \text{ м}$ ), грунтовые воды не встречаются даже на глубине  $50 \text{ м}$  (по данным буровых скважин). Эксплуа-

тация перлитов месторождения в настоящее время ведется открытым способом — карьерами. Технологические испытания показали, что арагацкому перлиту присущи исключительные промышленные свойства. Вспученный перлит Арагацкого месторождения применяется как теплоизолятор, для изготовления фильтров, в керамической, стекольной промышленности и т. д. (Сагателян, 1962; Наседкин, 1963; Мелконян, 1965).

Институт геологических наук АН АрмССР

В. П. ЕРЕМЕЕВ, А. А. КРУПА, В. В. НАСЕДКИН

## ПЕРЛИТЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ

Геологическое строение Северной и Центральной Монголии во многом сходно с геологическим строением Забайкалья. Месторождения вулканических стекол Забайкалья генетически связаны с мезозойским вулканизмом. В описываемых районах Монголии широко распространены мезо-кайнозойские эффузивные образования, среди которых также сохранились стекловатые разновидности. К 1967 г. на территории Монголии было известно более десяти месторождений и проявлений перлита. Наиболее крупные из них (фиг. 1): Элиген-Булакское 1, Баян-Улское 2, Цаган-Обоо 3, Цахиур-Ула 4, Замын-Уланское 5, Булган-Улское (Хэцу-Тэг-Ула) 6, Мандал-Обоо 7, Хох-Тээгское 8 и Уха-Обоо 9. Краткие сведения о некоторых из названных месторождений приводятся в работах А. А. Крупы (1965), Майдара и А. А. Крупы (1965) и Дугэрсурэна и А. А. Храпова (1966). В данной статье сравнительно детально описаны Элиген-Булакское и Баян-Улское месторождения, менее детально — Замын-Уланское, Мандал-Обоо, Булган-Улское, Хох-Тээгское.



Фиг. 1. Карта распространения месторождений и проявлений перлита на территории МНР

1—Элиген-Булакское; 2—Баян-Улское; 3—Цаган-Обоо; 4—Цахиур-Ула; 5—Замын-Уланское; 6—Булган-Улское; 7—Мандал-Обоо; 8—Хох-Тээгское; 9—Уха-Убоо

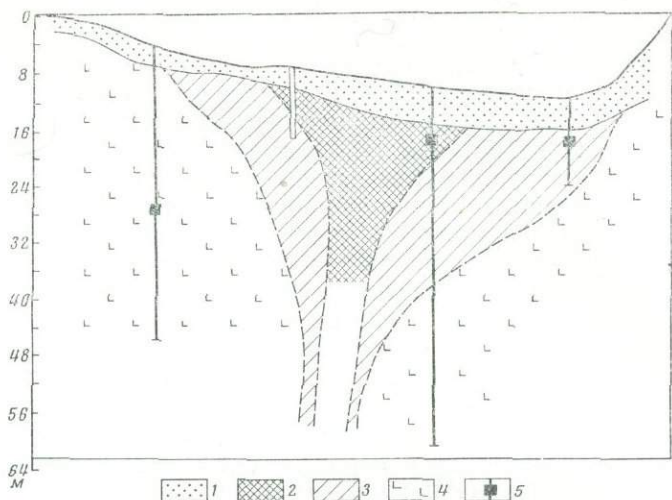


## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

**Элиген-Булакское месторождение** находится на территории Центрального аймака (урочище Шебэ), в 170 км от г. Улан-Батора, в 10—12 км от 14-го железнодорожного разъезда магистрали Улан-Батор—Пекин. В этом районе развиты нижнемеловые светло-серые липариты, кварцевые порфиры и их туфы. Среди кристаллических эффузивных образований встречаются стеклообразные породы типа перлитов. На территории района известны 4 участка распространения перлитов. Структура месторождения в целом точно не выяснена. Наиболее детально изучен так называемый второй участок данного месторождения. Судя по весьма неполным данным геологов В. М. Иванова и А. А. Храпова, второй участок представляет самостоятельное экструзивное тело. В плане оно имеет грубо эллипсоидальную форму. Большая ось эллипса ориентирована в широтном направлении. Экструзив, по-видимому, имеет зональное строение (фиг. 2). В центральной части месторождения залегают массивные разновидности перлита. В краевой — брекчиевидные и туфоподобные стекловатые породы, а также типичные витрокластические туфы. Кроме полностекловатых пород в периферических частях экструзива встречаются сферолитовые разновидности перлита. Элиген-Булакский экструзив морфологически напоминает купол месторождения Палхаза (Венгрия). Центральная часть этого купола имеет форму штока, краевая сложена пемзовыми брекчиевидными перлитами. Мощность центральной зоны Элиген-Булакского месторождения около 24 м, краевой — несколько превышает 10—12 м. Судя по характеру контактов и другим морфологическим особенностям, данный купол образовался на месте гигантской воронкообразной впадины, возможно, кратерного типа. Стекло краевой части купола довольно интенсивно замещается более поздними гидротермальными минералами, главным образом из группы монтмориллонита, и цеолитами. Наиболее интенсивное замещение характерно для витрокластических разновидностей перлита.

Ниже приводится краткая петрографическая характеристика перлитов Элиген-Булакского месторождения<sup>1</sup> (массивного, сферолитового и витрокластического). Массивный перлит состоит из вкрапленников и основной массы. Вкрапленники представлены кварцем, кали-натровым полевым шпатом ( $Nm=1,526$ ) и биотитом. Содержание вкрапленников не превышает 10—15%. Стекло основной массы под микроскопом бесцветное, имеет характерную перлитовую текстуру. Показатель преломления варьирует от 1,501 до 1,505, что, по-видимому, вызвано неравномерностью распределения воды. Удельный вес стекла 2,4. Объемный вес 2,31 г/см<sup>3</sup>. Общая пористость не превышает 2,2—3,8%. Сферолитовая разновидность отличается от вышеописанной наличием сферолитовых образований. Содержание последних достигает 30%. Размер отдельных сферолитов варьирует от 0,1 до 2—4 мм. Сферолиты состоят из волокон радиального расположения. На основании рентгеновских определений установлено, что преобладают сферолиты тридимит-полевошпатового состава. Пустоты в зональных сферолитах выполнены кристобалитом ( $N=1,487 \pm 0,002$ ). Брекчиевидные и витрокластические разновидности состоят из обломков размером 0,1—40 мм, пространство между которыми заполнено тонкообломочной массой (0,1 мм). По стеклу тонкообломочного агрегата развиваются монтмориллоноиды и цеолиты. Содержание вторичных минералов в отдельных разновидностях достигает 10—20%. Химический состав перлитов представлен в табл. 1.

<sup>1</sup> Более детальное описание разновидностей перлита этого месторождения приведено в статье А. А. Крупы и В. В. Наседкина (см. стр. 192 данного сборника).



Фиг. 2. Геологический разрез месторождения Элиген-Булак

1 — элювий; 2 — перлит (витрофир), сферолитовые разновидности перлита; 3 — брекчиевидные и пемзовидные разновидности перлита, переходящие в витрокластический туф; 4 — туф липарита; 5 — местоположение образцов

**Баян-Улское месторождение** перлита расположено приблизительно на 150 км южнее г. Улан-Батора (севернее пос. Баян-Цаган), к западу от Элиген-Булакского месторождения. Месторождение представляет куполовидную возвышенность, вершина которой метров на 150 выше поверхности долины. Нижние склоны возвышенности сложены стекловатыми породами, вершина — липаритом. Стекло образует концентрическую зону. Таким образом, данное тело весьма напоминает обычный экструзивный купол. Экструзив со всех сторон окаймлен четвертичными базальтами. Последние расположены гипсометрически ниже, на уровне окружающей равнины. Перлиты обладают витрофировой структурой. Встречаются также витрокластические разновидности (табл., а, б). Содержание кристаллических включений (вкрапленники и микролиты) составляет 24—25% общей массы породы. Вкрапленники представлены кварцем (4—6% объема породы), кали-натровым полевым шпатом (1—2%), плагиоклазом (около 3%,  $N_{g'}=1,546$ ,  $N_{p'}=1,538$ ), роговой обманкой (~1%) и биотитом (1%). Микролиты образованы кислым плагиоклазом (альбит-олигоклаз № 15). Вокруг отдельных вкрапленников наблюдаются каемки гранофирового строения. Стекло под микроскопом бесцветное. Показатель преломления  $1,501 \pm 0,003$ .

Липариты, как указывалось выше, залегают в верхней части экструзивного купола. Так же как и стекловатые разновидности, они состоят из вкрапленников и основной массы. Основная масса микрофельзитовая, местами гранофировая, состав ее полевошпатово-тридимитовый. В пузыристых разновидностях тридимит выполняет многочисленные пустоты.

**Месторождение Мандал-Обоо** находится в Южно-Гобийском аймаке (фиг. 1). Перлиты слагают краевые зоны липаритовых тел. Мощность стекловатых пород не превышает 1,5—2 м. Они залегают среди юрских образований. Петрографически перлиты представлены витрофировыми разновидностями (табл., в). Вкрапленники довольно редки (6,8—10% объема породы); представлены кислым плагиоклазом (олигоклаз № 20), кварцем, биотитом и амфиболом. Основная масса состоит из стекла, микролитов и кристаллитов (до 10%). Микролиты образованы таблитчатыми зернами плагиоклаза (альбит) и игловидными и кристаллитоподобными кристаллами амфибола. Кристаллы ориентированы.

Таблица 1

Химический состав (в вес. %) перлитов месторождений Центральной Монголии

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub> . . . . .	74,67	72,25	69,07	72,57	73,20	72,20	70
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,11	Не обн.	0,27	Не обн.	Не обн.	0,07	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	12,59	12,74	14,86	14,10	12,52	12,12	14,25
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,90	0,61					
FeO . . . . .	0,18	0,59	1,76	1,27	1,32	1,28	2,30
MnO . . . . .	0,00	Не обн.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
MgO . . . . .	0,07	0,11	0,84	0,45	0,48	0,35	0,45
CaO . . . . .	0,79	0,51	1,92	0,80	0,92	1,78	1,64
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,92	3,75					
K <sub>2</sub> O . . . . .	4,88	5,26	7,02	7,59	6,85	7,16	7,37
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,00	0,06	Следы	0,16	Следы	0,29	0,36
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	Следы	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	3,24	3,90					
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . . .	—	0,00	4,74	3,60	5,98	4,04	3,27
Сумма . . . . .	100,35	99,78	100,48	100,54	101,14	99,29	99,64

1 — Элиген-Булак; 2 — Баия-Улское (сбр. 125); 3 — Замын-Уланское; 4 — Магдал-Обоо; 5 — Булган-Улское; 6 — Хох-Тээгское; 7 — Цахиур-Ула.

Стекло под микроскопом бесцветное. Показатель преломления 1,497—1,500±0,002.

**Замын-Уланское проявление** находится на территории Средне-Гобийского аймака, в 80 км к юго-западу от ж.-д. станции Чойр. Условия залегания перлитов не изучались. Порода характеризуется витрофировым строением (табл., з). Вкрапленники составляют не более 5% объема породы. Они представлены плагиоклазом (олигоклаз № 15, угол симметричного погасания в зоне ⊥ (001) — 7° и амфиболом ( $Ng' = 1,702$ ;  $Np' = 1,693$ ). Размер кристаллов 0,3—0,5 мм. Микролиты (10% объема породы) также образованы амфиболом. Размер микролитовых кристаллов 0,01—0,04 мм. Микролиты группируются в полосы и потоки. Таким образом, суммарное содержание кристаллических образований составляет примерно 15%. Показатель преломления стекла 1,505±0,002. Химический состав породы представлен в табл. 1.

**Проявление перлита Уха-Обоо** расположено на территории Убуркангайского аймака в его северо-восточной части. Судя по имеющемуся в литературе описанию (Дугэрсурэн, Храпов, 1966), оно локализуется среди верхнемезозойских кислых эффузивов (юра-мел). Перлиты образуют дайкообразные тела и зоны закалки в потсках мощностью 1,5—2 м. Протяженность тел 1—2 км.

**Булган-Улское проявление** перлита находится в 400 км к западу-северо-западу от г. Далан-Задгад. В нашем распоряжении имеются отдельные образцы с данного проявления. Это сильно измененный перлит. Перлит обладает полосчатой текстурой. Полосчатость обусловлена чередованием линейных участков нацело и относительно слабо измененного стекла. Полосы сложены агрегатом цеолитов (гейландит и морденит) и в отдельных случаях хлоритоподобным веществом и халцедоном. Для слабо измененного стекла характерна перлитовая текстура;  $N$  стекла — 1,498±0,001. Вдоль перлитовых трещин наблюдается образование агрегата монтмориллоноидов и цеолитов. Количество неизмененного стекла не превышает 10—20% общего объема породы.

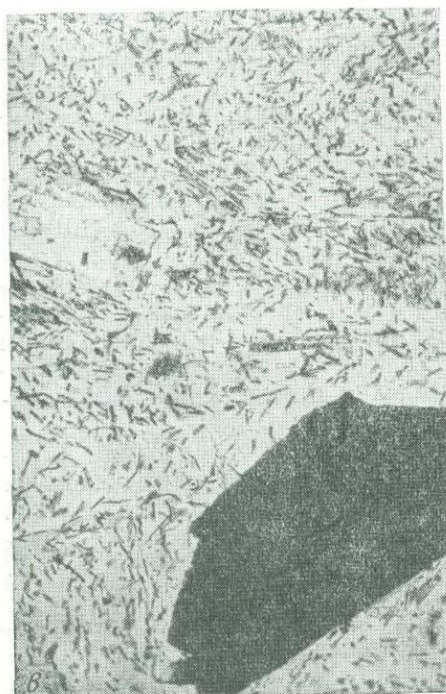
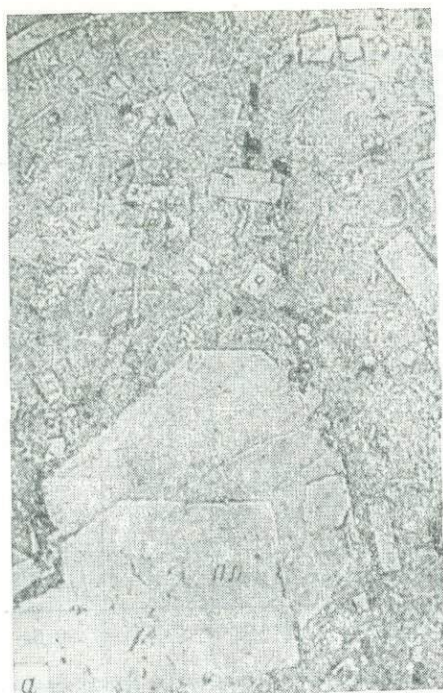


Таблица. Микроструктурные особенности перлита МНР

*а* — перлит Байан-Улского месторождения. Характерно высокое содержание вкрапленников и микролитов плагиоклаза (Пл); увел. 70, без анализатора; *б* — ромбовидная разновидность перлита того же месторождения, увел. 70, без анализатора; *в* — перлит Мандал-Обоо. Кристаллиты в основной массе представлены амфиболом, увел. 70, без анализатора; *г* — полосчатый перлит, Замьян-Уланское проявление. Микролиты и кристаллиты амфибола группируются в четко очерченные полосы; увел. 50, без анализатора

**Хох-Тээгское проявление** перлита находится на южных склонах Ихэ-Шанхайского хребта в Южно-Гобийском аймаке. В описываемом районе широко развиты мезозойские эффузивы условно верхнеюрского возраста. Перлиты, по-видимому, слагают краевые части потоков и экструзивных куполов. Мощность стекловатых зон варьирует от 2,5—3 до 25—30 м. Встречаются две текстурные разновидности перлитов: массивная и пемзовидная. В массивной содержание вкрапленников достигает 25—30% общего объема породы. Среди вкрапленников присутствуют плагиоклаз (олигоклаз № 20), биотит, амфибол и кварц. Основная масса представлена стеклом перлитового типа. Светопреломление  $1,498 \pm 0,002$ . Для массивных разновидностей пород характерна перлитовая текстура основной массы. Пемзовидные разновидности отличаются пористостью порядка 10—15%.

**Цахиур-Улское месторождение** перлита находится в северной части Центральной Монголии (Булганский аймак), в 155 км к северо-западу от аймачного центра. С г. Булганом месторождение связано грунтовой дорогой. Кислые эффузивы (предположительный кайнозой) залегают в виде купола до 1,5 км в диаметре. Мощность стекловатых пород достигает 15—20 м. Они отличаются довольно высоким содержанием вкрапленников (15—35%). Вкрапленники представлены плагиоклазом, санидином, кварцем и реже биотитом. Стекло основной массы обладает характерной перлитовой структурой.

Сведения об остальных проявлениях перлита (Цаган-Обоо и др.) еще более отрывочны и неполны. Перлитовое проявление Цаган-Обоо находится в пределах Восточно-Гобийского аймака, в его северо-восточной части, в 140 км от г. Сайн-Шанды. Перлиты петрографически весьма близки к породам Элиген-Булакского месторождения.

#### НЕКОТОРЫЕ ПЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЛИТОВ

Вулканические стекла описываемых месторождений относятся к классу липаритов (табл. 1). Как и для большинства кислых пород Восточного Забайкалья, для них характерно преобладание  $K_2O$  над  $N_2O$ . Близость условий формирования подтверждается также сходством минерального состава вкрапленников. В отличие от большинства разновидностей кислых эффузивов, для которых характерно присутствие во

Таблица 2

Минеральный состав (объемн. %) вкрапленников

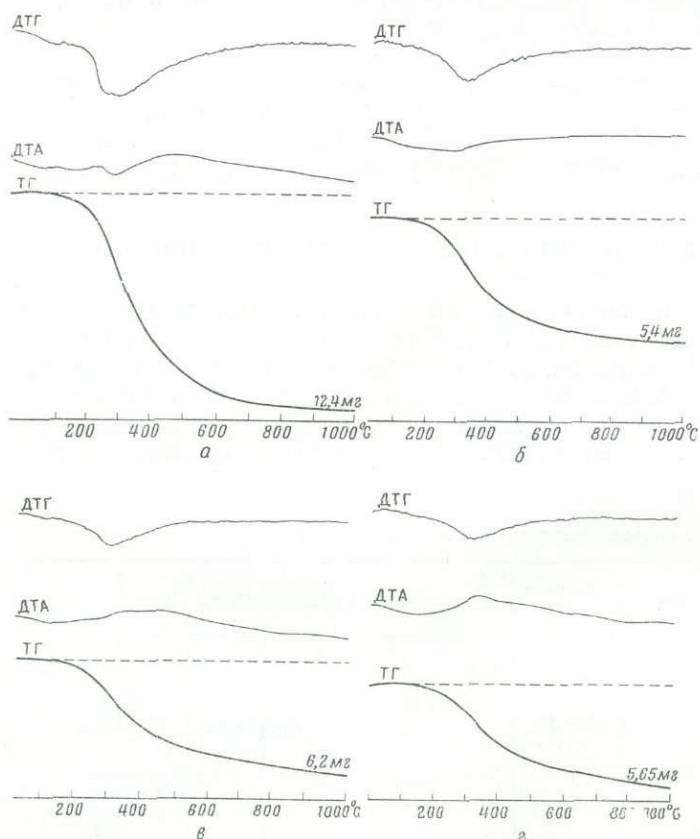
Месторождение	Суммарное количество	Плагиоклаз	Санидин	Кварц	Биотит	Амфибол	Рудный минерал
Элиген-Булакское	10—15	Олигоклаз 15 (5)	Натровый (5)	3	2	—	Единичные зерна
Баян-Улское	8—10	То же (3)	1—2	4—6	1	1	То же
Замын-Уланское	15	То же (5)	—	—	—	Длинно-призматические кристаллы (вкрапленники и микролиты до 10%)	»
Мандал-Обоо	10—12	Олигоклаз 20 (6—8)	—	2—3	2—3	Единичные зерна	»
Хох-Тээгское	25—30	То же (15—20)	—	5—7	3—4	2—3	»

вкрапленниках основного плагиоклаза и пироксена, для описываемых пород весьма характерна ассоциация: кислый плагиоклаз — кали-натровый полевой шпат — кварц — биотит. Продукты интрателлурической кристаллизации характеризуются типичным гранитным парагенезисом (табл. 2). На этом основании можно предположить, что очаг, развитие которого привело к формированию экструзий, находился в пределах зоны гранитизации, т. е. в верхних структурных этажах земной коры.

### ТЕРМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЕРЛИТОВ

Для исследования особенностей дегидратации были взяты образцы перлитов Баян-Улского, Замын-Уланского, Мандал-Обоо и Хох-Тээгского месторождений (фиг. 3, *a—г*). Исследование производилось на дериватографе в термической лаборатории ИГЕМ АН СССР.

Образец помещался в печь, предварительно нагретую до 50°С. Величина навески 120 мг (образцы 3, 107, 100) и 300 мг (обр. 124). Стекло для анализа отбиралось под бинокуляром. Анализ кривых нагревания (ДТА и ДТГ; см. табл. 3) показывает, что выделение из стекла воды



Фиг. 3. Термограммы вулканических стекол

*a* — Баян-Улского месторождения (навеска 300 мг, потеря веса 12,4 мг); кривая ДТГ: низкотемпературная вода выделяется в два этапа, выделение воды при 200—500° носит ступенчатый характер; *б* — Замын-Уланского месторождения (навеска 120 мг, потеря веса 6,54 мг); дегидратация происходит в один этап; *в* — Мандал-Обоо (навеска 120 мг, потеря веса 6,2 мг); характерно несовпадение максимумов ДТА и ДТГ; *г* — Хох-Тээгского (навеска 120,4 мг, потеря веса 5,65 мг); эндотермическому максимуму на ДТГ соответствует экзотермический эффект ДТА

Таблица 3

## Результаты обезвоживания перлитов МНР

Номер образца	Месторождение	Эндотермические максимумы, °С		Количество воды, выделившейся до 1000°, вес. %
		ДТА	ДТГ	
124	Баян-Улское . . . . .	80, 150, 275	85, 125, 250, 275	4, 13
3	Замын-Уланское . . . . .	145, 275	130, 320	5, 54
107	Мандал-Обоо . . . . .	150, 250	300	5, 15
100	Хох-Тээгское . . . . .	150	170, 310	4, 69

Примечание. Полуэкранны даны слабые термические эффекты, имеющие вид ступенчатых изгибов.

носит ступенчатый характер. Дегидратация перлита Баян-Улского месторождения происходит в три этапа, которые четко фиксируются в виде эндотермических эффектов не только на кривой ДТА, но и на дифференциальной кривой потери веса (ДТГ); 0,5—0,8% H<sub>2</sub>O, присутствующей в стекле, выделяется в температурном интервале от 50 до 200°С (ДТА, максимумы 80, 150). Остальная вода выделяется до температуры 950°С главным образом в интервале от 200 до 400° (2,5%). Для остальных образцов характерны менее четко выраженные эндотермические реакции нагревания. Дегидратация происходит в широком температурном диапазоне. Несовпадение максимумов ДТА и ДТГ (фиг. 3, з), по-видимому, свидетельствует о том, что наряду с реакцией дегидратации в температурном интервале от 200 до 500° происходят фазовые изменения. Показатель преломления стекла в процессе дегидратации уменьшается. Например, *N* исходного образца (Баян-Улское месторождение) 1,500±0,003; частично дегидратированного при 500—700° — 1,473±0,002; полностью дегидратированного 1,470±0,002.

## ПРОМЫШЛЕННЫЕ СВОЙСТВА ПЕРЛИТОВ

Большая часть изученных образцов перлита была вспучена в лабораторных условиях. Результаты и условия вспучивания представлены в табл. 4. По-видимому, эти данные дают лишь ориентировочные представления о вспучиваемости пород, так как режим обжига не всегда являлся

Таблица 4

## Результаты лабораторных испытаний перлитов Монголии

Месторождение	Фракция, мм	Объемный насыпной вес, г/см <sup>3</sup>		Режим вспучивания	
		до вспучивания	после вспучивания	температура, °С	время, мин
Элиген-Булакское . . . . .	1,0—2,0	1,285	0,250	900	1,2
	2,0—5,0	1,112	0,302	960	5
Цахиур-Ула . . . . .	0,5—2,0	1,270	0,300	1200	0,3
	7,0—10,0	1,130	0,700	1200	5
Цаган-Обоо . . . . .	0,25—1,0	1,185	0,330	1000	5
Замын-Уланское . . . . .	0,25—1,0	1,190	0,293	1100	0,2
	3,0—7,0	1,0	0,600	1050	5
Булган-Улское . . . . .	0,25—1,0	1,160	0,300	1100	0,2
	3,0—7,0	0,90	0,550	1050	5
Хох-Тээгское . . . . .	0,25—1,0	1,25	0,233	1100	0,2
	3,0—7,0	0,93	0,300	1050	5
Мандал-Обоо . . . . .	0,25—1,0	1,16	0,320	1100	0,2
	3,0—7,0	1,10	0,600	1050	5
Баян-Улское . . . . .	3,0—7,0	1,60	0,585	1050	5

оптимальным. Для эффективного вспучивания наиболее многоводных разновидностей перлита по аналогии с месторождением Забайкалья следует рекомендовать предварительный обжиг при температуре 300—350° с целью удаления избыточного количества воды. Кроме того, известно, что при испытаниях в полузаводских условиях коэффициент вспучивания может быть значительно увеличен по сравнению с лабораторными условиями за счет улучшения теплообмена и других особенностей вспучивания. Об этом можно судить на основании данных о полузаводских испытаниях перлитов Элиген-Булакского месторождения (табл. 5).

Таблица 5

**Результаты вспучивания вулканических стекол Элиген-Булакского месторождения в полузаводских условиях**

Тип установки	Температура вспучивания, °С	Условия термодготовки		Размер обломков, мм	Объемный насыпной вес вспученного материала, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент вспучивания
		температура, °С	время, мин			
Лабораторная электропечь	1100	—	—	5—10	550	3,6
Вращающаяся печь (МНР)	940—960	—	—	<3	160	7,7
Вращающаяся печь (ВНИИСТРОМ)*	950—970	380	15	<3	200	5,5
Шахтная печь (НИИСМИ)**	980—1020	—	—	0,6—2,5	80—100	15,0

\* Всесоюзный научно-исследовательский институт строительных материалов (Москва).

\*\* Научно-исследовательский институт строительных материалов и изделий (Киев).

Монгольская Народная Республика располагает целым рядом месторождений перлита. Многие из них весьма перспективны и, по-видимому, после дополнительных детальных исследований будут иметь промышленное значение. При данной степени изученности месторождений перлита наиболее перспективным представляется Элиген-Булакское месторождение, также расположенное в выгодных транспортных условиях.

Научно-исследовательский институт строительных материалов и изделий (Киев)

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР

В. А. ГУЦАЛЮК

## ОСОБЕННОСТИ ЛОКАЛИЗАЦИИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ СЕМЕЙТАУСКОГО И ТУРГАЙСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В Центральном Казахстане выявлено два основных морфологических типа месторождений вулканических стекол. Первый тип представлен дайкообразными телами относительно небольших размеров (месторождения Актогай и Коржункульское); второй — пластово-линзовидными телами среди вулканитов липаритового состава. Эти месторождения имеют промышленное значение. Сюда относятся Семейтауское и Тургайское месторождения, имеющие некоторые черты сходства в строении залежей.



Стекла месторождения Семейтау, вошедшие в литературу под названием «витрофиры», представляют собой кислые дифференциаты семейтауского магматического комплекса, отнесенного Ю. А. Кузнецовым (1964) к габбро-монзонит-сиенитовой формации орогенных зон. Породы формации имеют нижнемезозойский возраст (Истомин, Сальменова, 1964) и полого залегают на сильно дислоцированных и метаморфизованных образованиях палеозоя. Они представлены породами эффузивного, интрузивного и промежуточного между ними облика. Породы интрузивного облика относятся к анортоклазовым монзонитам, кварцево-анортоклазовым сиенитам и кварцевым анортоклазитами (Монич, 1949). Они образуют единое долопозитообразное тело (Истомин, 1965), дающее постепенные переходы в монзонит-порфиры и дальше к периферии в трахиандезиты. В породах эффузивного облика выделяются следующие петрографические типы: трахилипариты и трахиты, ортофиры, трахиандезиты, липариты.

С липаритами генетически связаны стекловатые породы. Н. Н. Горностаевым (1933) было показано, что становление липаритов происходило в завершающую стадию вулканической деятельности. Наши наблюдения подтвердили относительно более молодой возраст липаритов по отношению ко всем типам пород формации. По-видимому, это обстоятельство явилось одной из главных причин сохранения стекла в составе основной массы липаритовых пород.

Среди липаритов выделяются два типа (Гуцалюк, 1962). Первый, более ранний, представлен массивными (атакситовыми) однородными и плотными липаритами. Они залегают в форме куполов и некков и развиты в северо-восточной части гор и менее распространены в южной и юго-западной их частях. Среди липаритов первой группы стекловатые породы не встречены. Со вторым типом липаритов ассоциируют вулканические стекла флюидально-такситового строения. Эти липариты располагаются по юго-восточной, южной и юго-западной окраинам гор, образуя на современном эрозионном срезе вытянутую в северо-западном направлении подковообразную гряду разобщенных в пространстве тел. Тела имеют форму куполов, дайкообразных и пластообразных залежей, наклоненных к горизонту под различными углами. На одних участках (Бабеновский, Шоссейный) они пологие (5—20°), на других составляют 40—45 (участок Тулькули) или 65° (восточный борт участка Суукбулак), на третьих достигают 90° (дайкообразный дуговой нект участка Алтыбай и др.).

В разрезе тела состоят из следующих разновидностей пород (снизу вверх):

	Мощность, м
1. Туфовидный липарит. Цвет светло-серый до темно-серого, иногда коричневато-лиловый . . . . .	10
2. Фельзолипарит. Цвет темно-серый до светло-серого, часто темно-коричневый . . . . .	до 5
3. Гналолипарит (вулканическое стекло), смоляно-черный, иногда коричневато-черный и кирпично-красный. Часто наблюдается чередование гналолипаритов с фельзолипаритами . . . . .	5—6, резко 20
4. Фельзолипарит . . . . .	5
5. Липарит. Цвет лиловато-коричневый, реже серовато-коричневый и серый	300

В основании разреза липаритов обычно залегают агломератовые туфы (?) кислого состава. Все липаритовые породы обладают сходными текстурными особенностями и общностью состава вкрапленников (калинатровые полевые шпаты, кварц, редко олигоклаз). Смежные в разрезе разновидности пород, за исключением стекловатых, имеют постепенные пере-

ходы между собой. Стекловатые породы приурочены к нижним частям разреза и нередко переслаиваются с фельзолипаритами. Вулканические стекла выявлены в пределах 24 разобщенных участков, объединяемых в одно месторождение.

Стекла Тургайского месторождения<sup>1</sup> приурочены к юго-западной краевой части одноименного липаритового массива, образуя узкую дугообразную полосу протяженностью 15—16 км. Массив в плане имеет изометричную форму. Диаметр тела 10—13 км. В основании его, как и в Семейтауском массиве, залегают фельзолипариты, липариты и вулканические стекла. Кислые вулканы подстилаются плагиоклазовыми и биотит-роговообманковыми порфиритами, которые в свою очередь несогласно перекрывают отложения девона — нижнего карбона. Верхняя возрастная граница описываемых пород не установлена.

По данным геолого-съемочных работ (Р. А. Борукаев и др.), общая мощность кислых пород превышает 500 м. Судя по пространственной ориентировке флюидалности, породы наклонены к центру массива под углами 0—85° (преобладают углы 10—30°). В северной части массива они лежат почти горизонтально, с обратными углами до 5°. Сводный разрез пород эффузивной толщи по месторождению следующий (снизу вверх):

1. Порфириты лиловые, вишнево-бурые . . . . .	Мощность, м более 18
2. Липариты серые до светло-серых . . . . .	15—30 и более
3. Фельзолипариты бурые до светло-бурых . . . . .	2—3
4. Гиалолипариты черные, буровато-черные до бурых, темно-коричневые до красновато-коричневых (в среднем) . . . . .	3—26 10—12
В стекловатой зоне часто наблюдаются участки фельзитов . . . . .	0,5—2,0
5. Фельзолипариты бурые и светло-бурые, аналогичные указанным в пункте 3 . . . . .	0,6—15
6. Липариты серые до светло-серых, аналогичные указанным в пункте 2 . . . . .	сотни м

В строении Тургайского и Семейтауского месторождений наблюдается целый ряд сходных особенностей. Близки также химический и петрографический составы основных разновидностей пород обоих месторождений, а также их качественная промышленная характеристика. Имеются и различия. В частности, тургайские липариты отличаются от семейтауских повышенным содержанием порфириновых выделений. Для обоих месторождений характерны пространственная связь стекол с флюидалными липаритами и приуроченность их к основанию зональных массивов. Судя по положению месторождений в региональных структурах, можно заключить, что месторождения вулканических стекол образуются в завершающий этап магматической деятельности. Стекла образуются в процессе становления насыщенных кремнекислотой и умеренно богатых щелочами липаритовых пород, формирующихся в приповерхностных условиях из вязких расплавов, способных к переохлаждению. Поиски месторождений вулканических стекол следует вести именно на тех площадях развития кислых вулканических пород, где после их становления активные тектоно-магматические процессы не проявлялись. Такими площадями в Центральном Казахстане, исходя из геологических данных, могут служить, по нашему мнению, следующие поля развития кислых вулканических пород: 1) в Прииртышье (массив пермских эффузивов, расположенный в 75 км к востоку от

<sup>1</sup> Для характеристики месторождения использованы материалы геолога В. М. Ткаченко (Центрально-Казахстанское геологическое управление).

пос. Майкаин), 2) в Северном Прибалхашье (массивы эффузивов пермо-карбона, находящиеся в 20 км к востоку от пос. Акчатау и в 65 км к северу от г. Балхаш), 3) в северо-восточном Прибалхашье (пермские эффузивы междуречья среднего течения рек Аягуз и Баканас и в излучине р. Аягуз). Перспективной для поисков стекла может оказаться также обширная площадь развития кислых эффузивов среднего и верхнего карбона, расположенная севернее оз. Балхаш и южнее г. Каркаралинска.

Казахский институт минерального сырья

Ф. И. КОВАЛЬСКИЙ, С. В. КОСТРОМИН

### **ОСОБЕННОСТИ МЕТОДИКИ ПОИСКОВ И РАЗВЕДКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕРЛИТА**

За минувшие десять лет выявлены и изучены месторождения кислых вулканических стекол в Армении, Закарпатье, Казахстане, Забайкалье и в некоторых других районах страны. Большой опыт поисков и разведки таких месторождений пока еще не получил достаточного обобщения, хотя эти вопросы в той или иной степени и рассматривались в отдельных опубликованных работах. Традиционный подход к месторождениям перлита как к обычным месторождениям естественных каменных строительных материалов, по-видимому, не всегда правилен, так как они характеризуются довольно сложным геологическим строением и непостоянством технологических свойств сырья. В настоящей работе рассматриваются некоторые особенности методики изучения подобного типа месторождений. Статья основана главным образом на материалах разведочных работ, проведенных на месторождениях Мухор-Талинской, Закультинской и Мухор-Шибирской групп, расположенных в Забайкалье (Бурятская АССР и Читинская обл.).

#### **МЕТОДИКА ПОИСКОВЫХ И РАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ**

В задачу геологоразведочных работ входит изучение условий залегания, формы и строения залежей вулканических стекол, установление генетической связи их с одним или несколькими центрами излияния. Выполнение этой задачи достигается проведением на перспективных площадях поисково-съёмочных работ масштаба 1 : 25 000—1 : 50 000. После выявления проявлений перлита на участках непосредственного развития вулканических стекол проводится геологическая съёмка масштаба 1 : 2000—1 : 5000 (масштаб зависит от сложности геологического строения участков). Геологическая съёмка площади месторождения должна сопровождаться детальными геолого-структурными и минералого-петрографическими исследованиями, что в конечном счете позволит отнести изученный объект к определенному генетическому типу промышленных месторождений вулканических стекол и достоверно определить перспективы его перлитности. Разведочные работы на месторождениях вулканических стекол разделяются на стадии предварительной и детальной разведки. Для месторождений сложного геологического строения реко-

мендуется следующая методика. Поверхность месторождений (участки выходов вулканических стекол) изучается путем проходки магистральных канав через 50, 100 и 200—400 м одна от другой соответственно для оконтуривания запасов по категориям В, С<sub>1</sub> и С<sub>2</sub>. Пунктирные канавы допускаются лишь в качестве исключения. Шурфы целесообразно проходить в стадию поисков и при поисково-разведочных работах для выявления локализации наиболее перспективных участков.

На глубину залежи перлитов разведуются вертикальными скважинами колонкового бурения. Для месторождений, характеризующихся сложным строением и невыдержанным качеством сырья (участок Мухор-Тала), принята следующая густота сети скважин: для запасов категории В — 50×50 м; С<sub>1</sub> — 100×100 м; С<sub>2</sub> — 200×200 м.

Если залежи перлитов имеют выдержанную мощность и им свойственно относительное постоянство технологических свойств (участок Мухор-Булык), сеть выработок можно разрядить в 2—3 раза.

Подготовка запасов категории А на месторождениях вулканических стекол Забайкалья признается нецелесообразной, так как дополнительное сгущение сети скважин приводит к излишним затратам на геолого-разведочные работы без значительного увеличения точности в оценке запасов. Добыча перлитов на месторождениях, характеризующихся неоднородностью сырья, должна осуществляться селективно и сопровождаться эксплуатационной разведкой, что будет способствовать правильному выделению участков, сложенных теми или иными сортами сырья. Соблюдение требований, предъявляемых к разведке месторождений перлита, сочетание всестороннего их изучения с необходимой детальностью гарантирует достоверность результатов геологоразведочных работ и предотвращает ошибки как в подсчете запасов сырья, так и в установлении его качественных особенностей.

#### **МЕТОДИКА ОПРОБОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМНОГО ВЕСА**

Особенности изучения месторождений перлита связаны со спецификой его промышленного использования. Выявлению технологических свойств перлитов должно уделяться основное внимание, так как именно эти свойства определяют промышленную ценность того или иного объекта. Поэтому изучение химического состава пород, производство спектральных и минералого-петрографических анализов проб отодвигается на второй план (хотя и выполняется в необходимых объемах), уступая первое место прямым и непосредственным испытаниям на вспучиваемость каждой бороздовой и керновой пробы.

Влияние различных факторов (химического состава, степени кристалличности, содержания воды и т. д.) на характер вспучиваемости перлитов изучалось многими исследователями. Однако для каждого нового месторождения необходимо определить степень однородности технологических свойств сырья, пределы колебания объемного веса вспученных продуктов и выяснить причины, вызывающие эти колебания.

В начальную стадию изучения месторождения (поисковую) определяются основные разновидности и сорта вулканических стекол и испытываются все пробы, отобранные в данную стадию по полной программе в соответствии с временной инструкцией, разработанной лабораториями Иркутского геологического управления и Всесоюзным научно-исследовательским институтом строительных материалов (Москва). Тем самым устанавливаются основные оптимальные параметры термообработки проб. В дальнейшем все пробы в период предварительной и детальной разведок испытывают по сокращенной программе (т. е. при опти-

мальном режиме, установленном ранее для каждой разновидности перлитов и стекловатых пород).

Изучение технологии переработки сырья завершается отбором валовых проб и испытаниями их в заводских условиях. Количество и вес валовых проб обычно согласовываются с организацией, которая производит или намеревается производить эксплуатацию месторождения. Отбору валовых проб предшествует составление групповых проб, которые детально и по полной программе изучаются в лабораторных условиях.

Именно результаты испытаний групповых проб позволяют с достаточной достоверностью выделить на месторождении блоки сырья с определенными технологическими свойствами, провести разделение полезного ископаемого по сортам внутри выделенных блоков и окончательно выявить оптимальный технологический режим переработки вулканических стекол, который и будет проверен последующими испытаниями валовых проб в заводских условиях.

Вулканические стекла по степени вспучиваемости крайне неоднородны, что характерно для многих месторождений. С одной стороны, это объясняется особенностями формирования перлитовых залежей в результате быстрого остывания кислых очень вязких лав, в которых процессы диффузии протекали весьма медленно. С другой — послемагматические гидротермальные изменения стекол, неравномерно проявленная их вторичная гидратация и начавшаяся кристаллизация еще более усиливают эту неоднородность. В вулканических стеклах могут присутствовать порфиновые вкрапленники, кристаллиты, фельзосферитовые обособления, включения обломочного материала и т. д. Вторичные изменения вулканических стекол выражаются в их монтмориллонитизации, цеолитизации, каолинизации, адуляризации и т. д. Измененные участки стекла оказывают большое влияние на технологические свойства сырья и определяют выход кондиционного вспученного перлита. В конечном счете это приводит к тому, что вулканические стекла по-разному проявляют свою способность к вспучиванию при одном и том же режиме термообработки, и в результате получается весьма неоднородный по объемному весу пористый наполнитель.

Для месторождений Мухор-Талинской группы установлено, что в большинстве испытанных керновых и бороздовых проб содержатся вспучивающиеся и невспучивающиеся частицы. Причем соотношения керновых и бороздовых проб, а также и объемные веса изменяются в довольно широких пределах. При определении качества перлитового сырья нельзя ограничиваться измерением среднего объемного веса вспученного песка и щебня, необходимо устанавливать степень однородности материала. Об этом можно судить по данным определения объемного веса вспученных и невспученных частиц, а также их содержания (в вес. %).

В лабораторных условиях при массовом изучении технологических свойств проб перлита иногда бывает трудно получить необходимое количество материала (3 л) для экспериментального определения объемного веса смеси, состоящей из вспученных и невспученных частиц. Поэтому нами предлагается следующая формула для определения объемного веса (в куске или засыпке) перлита:

$$d_v = \frac{1}{\frac{n}{d_1} + \frac{1-n}{d_2}},$$

где  $d_v$  — объемный вес смеси;  $d_1$  и  $d_2$  — объемные веса вспученных частиц;  $n$  — содержание вспученных частиц по отношению к общему количеству материала, принятому за единицу.

Сопоставление результатов теоретического и экспериментального определения объемных весов вспученного перлита \*

Номер пробы	Содержание частиц, вес. %		Объемный вес, г/см <sup>3</sup>		Смеси	
	$d_v < 1$	$d_v > 1$	фракции		определено	рассчитано
			<1	>1		
1331	50,0	50,0	0,64	1,47	0,89	0,87
1829	13,4	86,6	0,71	2,17	1,69	1,70
2209	29,7	70,3	0,55	1,57	1,01	1,01
1807	81,8	18,2	0,59	2,19	0,68	0,68
1823	56,8	43,2	0,68	1,52	0,89	0,89
1825	75,5	24,5	0,66	1,24	0,74	0,74
1347	59,4	40,6	0,73	1,56	0,94	0,93
1801	16,6	83,4	0,61	2,16	1,52	1,52
1366	40,5	59,5	0,70	1,57	1,05	1,04

\* Определения производились в Иркутском геологическом управлении.

Вывод приведенной формулы легко осуществляется теоретически, а справедливость подтверждается многочисленными экспериментами (см. таблицу). Величины объемного веса, определенные лабораторным путем и рассчитанные по формуле, не имеют больших расхождений между собой.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ МУХОР-ТАЛИНСКОГО ПЕРЛИТА

Испытания бороздовых и керновых проб перлита Мухор-Талинского участка показали, что наиболее характерный объемный вес вспученного щебня в куске (фракция 7—10 мм) при оптимальном для каждой пробы режиме варьирует от 0,3 до 1,0 г/см<sup>3</sup> и выше (в среднем 0,5—0,8).

Вспучивание перлита проводится по двухстадийной схеме. Предварительная термоподготовка предшествует процессу вспучивания. Эксперимент показал, что при содержании остаточной воды 0,5—3,0% при прочих равных условиях получается вспученный перлит с одинаковым объемным весом. Если же содержание воды падает ниже 0,5%, то резко снижается и степень вспучиваемости сырья. Увеличение содержания воды выше указанного предела приводит к растрескиванию перлита при обжиге, и вспучивания при этом не происходит. Изменение температуры термоподготовки от 300 до 500° при идентичных условиях обжига не приводит к существенному изменению степени вспучиваемости сырья. Так, при повышении температуры термоподготовки до 400° количество проб с максимальной вспучиваемостью возрастает всего на 4% от общего числа испытанных проб, а при дальнейшем увеличении температуры наблюдается некоторое уменьшение числа проб с наименьшим объемным весом. При повышении температуры обжига с 1100 до 1200—1250° количество проб с объемным весом вспученного щебня в куске 0,4 г/см<sup>3</sup> удваивается, т. е. степень вспучиваемости резко возрастает, а материал после обжига получается более легкий.

Повышение температуры обжига до 1300—1350° не вызывает дальнейшего повышения вспучиваемости сырья. Отмечается некоторое увеличение числа проб с объемным весом щебня 0,6 г/см<sup>3</sup>, т. е. получается несколько более тяжелый вспученный материал. При изменении времени обжига сырья с 10 до 20 сек показатели вспучиваемости улучшаются: количество проб перлита с объемным весом щебня 0,6 г/см<sup>3</sup> дости-

гает 32% общего числа испытанных проб. Увеличение времени обжига до 30—35 сек приводит к значительному уменьшению числа проб с объемным весом щебня 0,4—0,6 г/см<sup>3</sup> (на 13%), зато резко возрастает количество проб (на 22%) с объемным весом щебня 0,8—1,0 г/см<sup>3</sup>.

Таким образом, для эффективного вслушивания вулканических стекол Мухор-Талы необходима термopодготовка при 300—350°. Обжиг осуществляется при температуре 1200—1250° в течение 20 сек. Если же необходимо получить перлитовый щебень с насыпным весом 400—500 кг/м<sup>3</sup> (объемный вес в куске 0,85—1,0 г/см<sup>3</sup>), следует увеличить время обжига.

Бурятское геологическое управление



В. И. ЛЕБЕДИНСКИЙ

## ПРОЯВЛЕНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКОГО СТЕКЛА В ГОРНОМ КРЫМУ

В мезозое в Горном Крыму проявилась весьма своеобразная магматическая деятельность. В результате ее сформировались спилито-кератофировый (верхний триас — средняя юра), габбро-диабазово-плагитогранитный (нижняя и средняя юра) и андезитовый (мел) комплексы. В целом для Горного Крыма характерно преобладание вулканических пород над плутоническими.

Изучение особенностей среднеюрского спилито-кератофирового комплекса производилось в пределах горного массива Карадаг, где среди господствующих зеленокаменных пород присутствуют также и кайнотипные вулканические породы, местами представленные стекловатыми разновидностями. Карадаг — это сложно расчлененный скалистый массив, находящийся в восточной части Горного Крыма между Судаком и Феодосией. Двумя основными слагающими его структурными элементами являются Береговой хребет, вытянутый вдоль берега в северо-восточном направлении, круто обрывающийся к морю, и куполообразный массив Святой горы. Вулканизм Карадага исследовался Ф. Ю. Левинсон-Лессингом и Е. М. Дьяконовой-Савельевой (1933) и в последние годы автором статьи совместно с Н. Н. Макаровым (Лебединский, Макаров, 1962).

На Карадаге известны три формы залегания стекловатых пород: обособленные скопления среди трассов горы Святой, кровлевые части потоков лав среднего состава и гналокластиты.

Вулканическое стекло среди трассов горы Святой. На восточном склоне этой горы находится лестница заброшенных карьеров, в которых до 1941 г. добывались трассы. В старом отвале встречаются трассы нескольких видов, различающиеся по структуре и текстуре. Очень редко среди глыб и обломков трассов можно найти отдельные кусочки черного блестящего кислого вулканического стекла. В коренных выходах стекло нигде не встречено, хотя площадь вертикальных стен многоэтажных карьеров велика. Поэтому приходится допустить, что вулканическое стекло приурочено к отработанной части трассовых карьеров, а дальше к западу в глубь горы Святой оно не распространяется. Это представление подтверждается данными разведки трасса на горе Святой, проведенной в свое время А. К. Марковым (1934). В ма-

териалах разведки не упоминается о находках вулканического стекла в канавах и скважинах. По нашим данным, трассы представляют собой сваренные туфы плагио-липаритового состава; на этом основании можно предположить, что обломки стекла являются включениями типа фьямме. Химический состав вулканического стекла представлен в таблице.

Химический состав (вес. %) стекловатых пород Карадага

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub> . . .	69,94	60,15	60,48	59,65	61,09	62,65	56,00	60,56	56,02
TiO <sub>2</sub> . . .	Следы	0,65	0,75	0,60	0,65	0,65	0,89	1,10	0,87
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	13,03	16,41	15,41	17,38	15,82	14,79	17,04	13,91	14,67
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	Нет	3,33	3,19	2,20	1,73	1,86	4,20	3,21	2,09
FeO . . . .	1,46	2,81	3,60	3,23	3,65	3,72	1,43	4,25	5,72
MnO . . . .	0,08	0,12	0,13	0,17	0,14	0,14	0,17	0,19	0,09
MgO . . . .	0,25	1,87	1,79	1,48	1,44	0,78	1,98	2,62	4,40
CaO . . . .	0,10	6,50	6,80	6,65	6,45	5,55	4,05	6,27	6,56
Na <sub>2</sub> O . . . .	5,23	2,18	3,26	3,77	5,39	3,64	5,26	3,18	3,88
K <sub>2</sub> O . . . .	1,09	0,82	0,61	0,90	0,60	0,72	1,33	1,06	
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . .	0,08	0,22	0,22	0,24	0,25	0,28	0,30	0,30	0,22
SO <sub>3</sub> . . . .	Нет	Нет	Нет	0,33	0,24	0,15	0,03	—	—
CO <sub>2</sub> . . . .	0,07	0,22	0,22	0,18	0,26	0,33	0,22	0,05	0,12
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . .	7,03	3,50	3,33	3,37	3,03	3,93	5,05	2,10	5,26
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . .	1,29	1,30	0,72	0,82	0,79	0,51	2,68	1,58	0,32
Сумма . . .	99,65	100,08	100,51	100,97	101,53	99,70	100,63	100,38	100,22

1— вулканическое стекло Святой горы, обр. 230 к; 2— гиалоандезит из кровли потока в восточной части Карадага; 3— гиалоандезит, в 0,3 м от кровли потока, там же; 4— гиалоандезит, в 4,5 м от кровли потока, там же; 5— гиалоандезит, в 10,5 м от кровли потока, там же; 6— порфирит, в 13 м от кровли потока, там же; 7— кератофир из подошвы потока, в 13,5 м от кровли, там же; 8— андезитовые глобулы из глыбы гиалокластита в Сердоликовой бухте Карадага, обр. 159 г; 9— андезито-базальтовые глобулы из глыбы гиалокластита, там же, обр. 159д.

Аналитики: Л. П. Васильева (анализ 1); В. А. Никулина (анализы 2—7, Ин-т минерал. ресурсов, г. Симферополь); С. А. Цвик (анализ 8, Львовск. гос. ун-т); анализ 9 выполнен в хим. лаборатории треста «Днепрогеология».

Изучение шлифов вулканического стекла горы Святой под микроскопом показало, что в нем практически отсутствуют вкрапленники и очень хорошо развита перлитовая отдельность. Стекло свежее, не раскристаллизовано. По данным химического анализа оно определяется как липаритовый перлит или даже пехштейн.

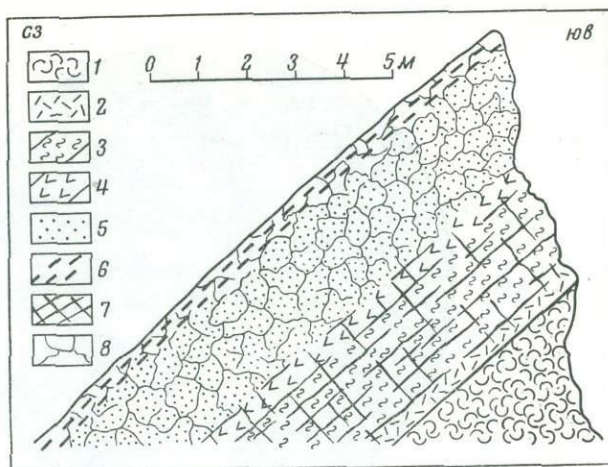
Следует обратить внимание на очень высокое содержание в стекле Na<sub>2</sub>O — 5,23%. Учитывая отсутствие натриевых минералов в породе, нужно полагать, что натрий входит в состав стекла. Аномально высокое содержание этого компонента в стекле лучше всего объяснить поглощением натрия лавой из окружающей морской воды или иловых растворов нелитофицированных осадков.

По данным исследований И. С. Солонинко (Жуков, Байвель, Солонинко, 1960), липаритовый перлит горы Святой хорошо вспучивается, давая вспученный песок с объемным весом 180—250 кг/м<sup>3</sup> и легковесный щебень с объемным весом 200—350 кг/м<sup>3</sup>. Однако промышленного значения мелкие гнезда перлиты в трассе не имеют.

Вулканическое стекло в кровлевых частях потоков лавы среднего состава. В нескольких участках Берегового хребта встречены потоки лав среднего состава, кровля которых сложена



гиалоандезитами. Один из наиболее эффектных потоков мощностью 5,6 м находится в центральной части Карагача (западная часть Берегового хребта). В нем наблюдается следующая последовательность пород (снизу вверх): кератофир-порфирит-гиалоандезит (разрез). Поток лежит на литокластическом туфе кератофира - порфиритового состава. Нижняя часть потока сложена кератофиром, состоящим из небольшого числа вкрапленников лабрадора, почти полностью альбитизированных и цеолитизированных, авгита и хлоритовых псевдоморфоз по ромбическому пироксену, кото-



Схематический разрез потока лавы сложного строения в центральной части гребня Карагач

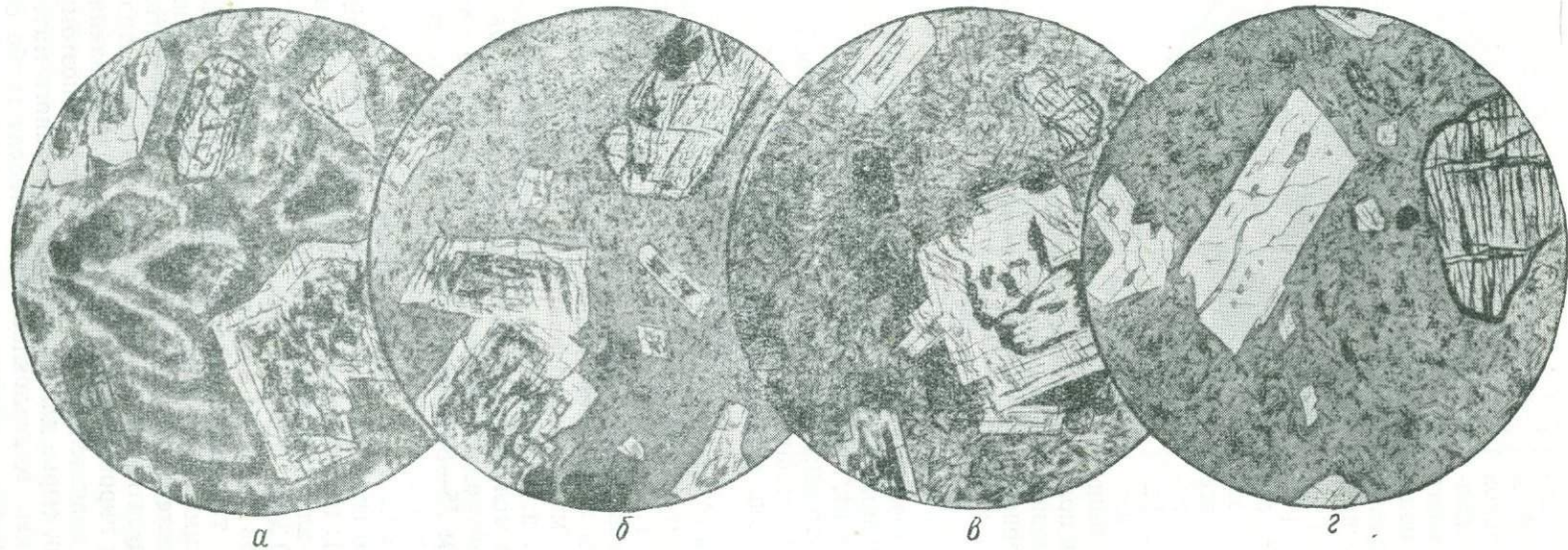
1— литокластический туф кератофира; 2— кератофир; 3— частично альбитизированный порфирит; 4— порфирит без признаков альбитизации; 5— двупироксеновый андезит; 6— гиалоандезит; 7— трещины плитчатой отдельности; 8— трещины глыбовой отдельности

рые заключены в основной массе микролитовой структуры. В основной массе породы в большом количестве развит зеленовато-бурый криптокристаллический хлорит, приуроченный преимущественно к многочисленным перлитовым трещинкам. Мощность кератофировой зоны около 0,2 м. Выше находится мощная зона порфиритов. При этом на расстоянии 0,2—2,1 м от подошвы встречены породы, располагающиеся между типичными кератофирами и порфиритами. В средней части потока на расстоянии 2,1—2,9 м от подошвы залегают порфириты с нечетко выраженной микропиклитовой структурой основной массы. Вкрапленники лабрадора свежие, гиперстена — частично разрушенные. Еще выше находится двупироксеновый андезит (2,9—4,4 м от подошвы). Для него характерны свежесть минералов и присутствие вулканического стекла в базисе. Основная масса гиалопилитовой структуры. Верхняя часть потока (4,4—5,6 м от подошвы) сложена двупироксеновым гиалоандезитом, который отличается от нижележащего андезита резко возросшим количеством светло-бурого вулканического стекла (светопреломление 1,509), составляющим 75—80% всей породы. Микрочастицы пород из разных участков потока показаны в табл., а—г.

Детально изучен еще более мощный поток (13,5 м) сложного строения преимущественно гиалоандезитового состава в восточной части Карагача (сверху вниз): гиалоандезит, мощность 11 м; порфирит, мощность 1 м; частично альбитизированный порфирит, мощность 1,2 м; кератофир, мощность 0,3 м.

Химический состав пород из разных горизонтов потока представлен анализами 2—7 (см. таблицу). Гиалоандезиты с разных уровней в общем обладают близким составом, порфирит и кератофир от них несколько отличаются, что естественно из-за испытанных ими эпигенетических изменений. Гиалоандезиты содержат значительное количество вкрапленников плагиоклаза и пироксена (около 25%), при нагревании практически сколько-нибудь значительно не вспучиваются и поэтому не представляют интерес как сырье для получения вспученного материала.

Гиалокластиты. К гиалокластитам относят грубо обломочные породы пирокластического облика с характерной буровато-красной



Т а б л и ц а. Микрорисовки пород из потока лавы сложного строения в центральной части гребня Карагач; увел. 37, без анализатора

*а* — кератофир из подошвы потока, вкрапленники плагиоклаза замещены альбитом (кроме узкой периферической каемки); *б* — частично альбитизированный порфирит (в 1,45 м от подошвы); *в* — двупироксеновый андезит (в 2,4 м над подошвой); основная масса имеет микропиклитовую структуру; *г* — двупироксеновый гиалоандезит из кровли (в 5,4 м над подошвой), основная масса породы сложена светло-коричневым вулканическим стеклом

окраской, которые слагают часть скалы Левинсон-Лессинга, обрывы над скалой Иван-Разбойник и глыбы на пляже Сердоликовой бухты и в некоторых других местах. Состоят они из черных глобуль и обломков гиалоандезитов поперечником от 2—3 до 8—10 см, связанных буровато-коричневой массой, напоминающей литокластический туф. Глобули стекловатой вулканической породы легко могут быть приняты за вулканические бомбы. Для глобуль характерна шаровидная и эллипсоидальная форма, в них хорошо выражена скорлуповатость, отражающая концентрически зональное строение. Но в отличие от бомб поверхность глобуль лишена скульптурных деталей (шероховатости, сетки трещин типа «хлебной корки» и др.), она гладкая и блестящая.

По химическому составу глобули принадлежат к андезитам (анализ 8) и андезито-базальтам (анализ 9). Стекловатые глобули не исследовались на вспучиваемость, но, судя по содержанию кремнезема, характерному для средних и переходных от средних пород к основным, а также значительному количеству вкрапленников, они едва ли могут представить интерес как вспучивающийся материал.

Институт минеральных ресурсов АН УССР

М. Д. ОВАНЕСЯН, В. О. СААҚЯН

## **ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ШЛАКОВ АРМЕНИИ, МЕТОДИКА ИХ РАЗВЕДКИ, ОПРОБОВАНИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ**

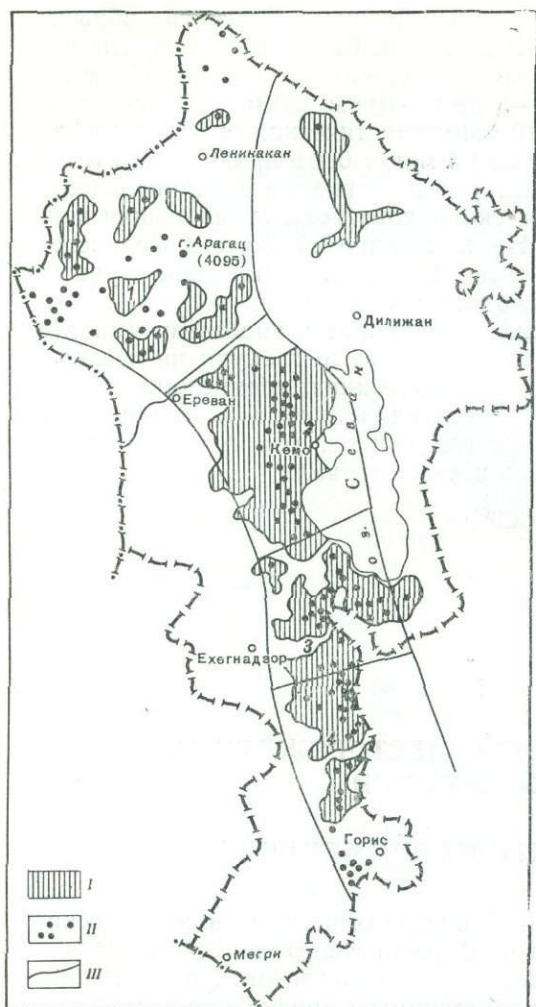
Шлаковые конусы локализируются в пределах четырех вулканических районов: Арагацского, Гегамского, Варденисского и Зангезурского. Названные районы образуют зону общекавказского простиранья. В центральной части зоны на юго-восточном ее продолжении наблюдается концентрация конусов, на периферии они встречаются реже (фиг. 1).

Общее число шлаковых центров на территории Армянской ССР достигает 300. Шлаковые конусы образуют группы или одиночные вулканы. Центры могут располагаться цепочками вдоль прямых или дуг.

Конусы сложены главным образом вулканическими шлаками, отличающимися различными пористостью, размером обломков, спеканием, содержанием стекловатых частиц, лапиллей, пепла, бомб и т. д. Как правило, окисленные (буро-красные) шлаки всегда залегают сверху и связаны с подстилающими их черными разновидностями постепенными переходами через осветленные и желтоватые разновидности.

Важной особенностью строения шлаковых конусов является наличие на их вершине монолитных и грубослоистых ошлакованных лавовых образований, залегающих на шлаковой залежи мощностью до 5—10 м и более. Породы, слагающие эти покровы, варьируют в зависимости от текстурно-структурных особенностей, окраски (от ярко-красных до черных), мощности отдельных слоев (0,5—3 м), пористости, спекания, слоистости и т. д.

Внешне вулканические шлаки весьма разнообразны, однако химический состав их соответствует главным образом андезито-базальтам и базальтам, реже андезитам (табл. 1). В минералого-петрографическом от-



Фиг. 1. Вулканические центры и их лавы Армянского нагорья

I — базальты, андезит-базальты, андезиты; II — вулканические конусы; III — зона четвертичного вулканизма; 1 — Арагацкая; 2 — Гегамская; 3 — Варденисская; 4 — Зангезурская

вать твердые и сверхтвердые смеси и т. д. В связи с этим наблюдается широкий диапазон в проявлении новых и высокоэффективных свойств. Указанные ценные свойства, видимо, обусловлены природой самого стекла и теми особенностями, которые подлежат дальнейшему раскрытию.

Как известно, кислые вулканические стекла типа перлита образуются в результате природной гидратации обсидиана. Характерно, что содержание воды возрастает с возрастом стекла (Наседкин, 1963). Вулканические шлаки обладают несколько иными физико-химическими особенностями. Например, методом ДТА установлена сложная природа термических реакций. Получены два типа термограмм (фиг. 2).

На первой термограмме проявляются эндотермический ( $100-200^\circ$ ) и экзотермический эффекты ( $250-800^\circ$ ). Первый по-видимому, связан с выделением воды, второй — с превращением железосодержащих компонентов. На второй термограмме присутствуют два эндозффекта при 50 и

ношении шлаки на 95—99% от объема всей породы представлены пористым стеклом различной окраски (от темно-бурой до черной).

В стекловатом мезостазисе весьма неравномерно рассеяны микролиты и игольчатые кристаллики роговой и базальтической обманки, авгита, диопсида, оливина, плагиоклазов (андезин-лабрадор), гиперстена и рудного минерала (магнетита). Соотношение пор и основной массы, а также их размер и форма отчетливо устанавливаются под микроскопом (табл., а). Стекло межпорового пространства под электронным микроскопом обнаруживает пористо-волнистую и пузыристую текстуру (табл., б, в).

Пористость шлаков в подавляющем большинстве колеблется от 40 до 60%, но встречаются также более легкие разновидности (кармрашенского типа), где пористость достигает 60—80%. Для них характерна равномерная пористость. Размер пор варьирует от 0,01—0,1 до 1—10 мм. Форма круглая, эллипсоидальная, неправильная. Пористость шлаков как основная их текстурная и генетическая особенность заслуживает самого пристального внимания и дальнейшего изучения.

Вулканические шлаки отличаются жаростойкостью, кислотостойкостью, гидравлической активностью, могут образовывать

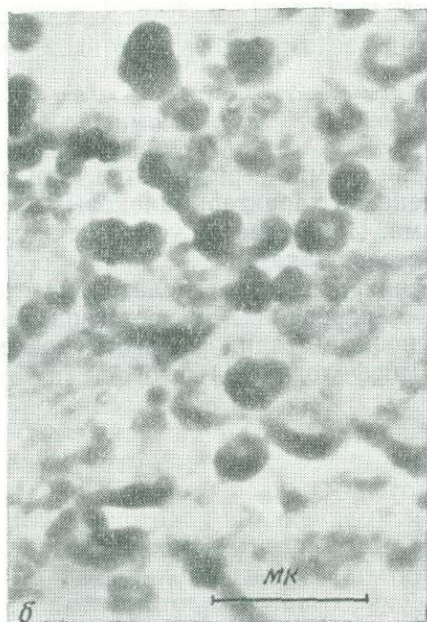
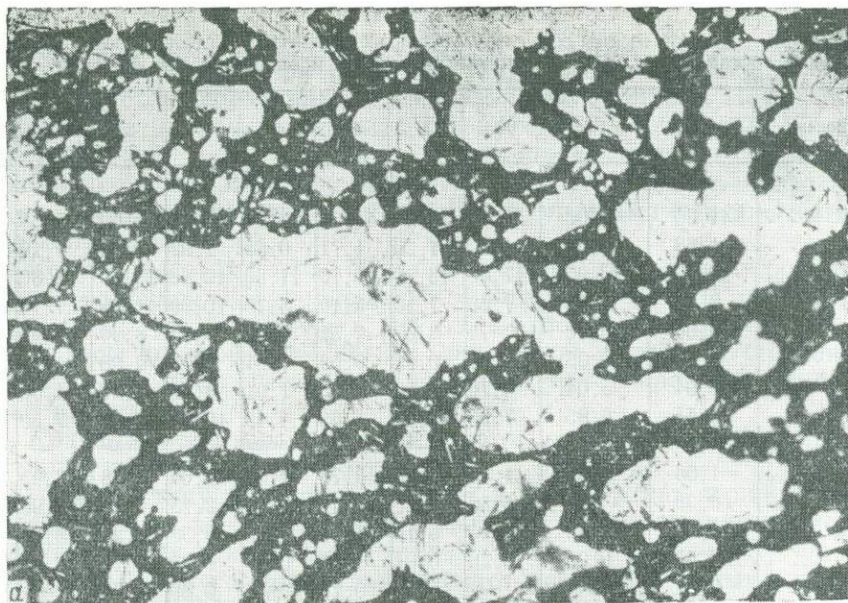


Таблица. Текстуры особенностей шлаков Армении

*a* — красно-бурый шлак (обр. 178), Октемберянский район, увел. 45, без анализатора; *б* — пузыристая текстура стекла. Электронномикроскопический снимок, увел. 48 000; *в* — пористо-волнистая текстура стекла, увел. 48 000

1000°. Первый свидетельствует о быстром выделении слабо связанной воды; второй, по-видимому, характеризует выделение трудноудаляемой высокотемпературной воды.

Вулканические шлаки Армении в генетическом отношении имеют также ряд отличительных особенностей. Генезис определяет гранулометрический состав, цвет, пористость и т. п. Для Арагацкого района характерны грубослоистые и крупнообломочные шлаковые постройки, для Зангезура (Горисский район) — тонкослоистые, рыхлые, состоящие

Таблица 1

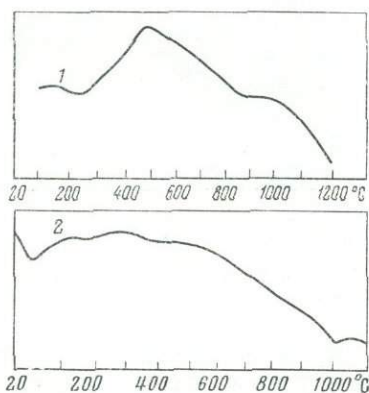
Химический состав (в вес. %) вулканических шлаков и основных лав Армении

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub> . . .	41,20	49,00	56,90	55,20	41,00	50,10	42,80	42,60	55,35	57,17
TiO <sub>2</sub> . . .	1,33	0,48	1,60	1,20	1,71	0,44	1,92	0,28	1,10	1,95
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	20,20	15,90	17,40	16,70	20,10	11,60	12,60	13,80	15,80	11,95
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	8,44	8,43	7,80	7,10	4,10	8,75	10,50	11,34	7,70	8,97
FeO . . .	6,66	6,19	—	6,00	7,52	6,62	9,83	8,20	8,41	4,42
MnO . . .	0,26	0,08	0,13	0,12	0,99	0,04	0,70	0,08	—	—
MgO . . .	5,94	5,04	4,70	6,50	6,73	1,91	8,60	8,26	4,50	2,66
CaO . . .	9,54	6,85	7,90	7,00	4,69	4,45	10,00	7,99	7,50	5,82
BaO . . .	—	—	—	—	—	Следы	—	Следы	—	—
Na <sub>2</sub> O . . .	1,06	2,50	1,50	3,40	5,78	1,07	5,04	1,58	2,95	4,60
K <sub>2</sub> O . . .	0,92	Следы	1,50	1,30	4,41	0,72	2,78	0,13	1,90	2,30
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . .	4,03	5,42	1,13	6,10	1,70	0,13	3,58	5,28	3,07	0,84
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . .	0,53	0,06	0,20	0,01	1,36	0,06	0,24	0,10	6,30	0,13
F <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . .	0,37	Следы	—	—	0,76	Следы	0,89	0,21	—	—
SO <sub>3</sub> . . .	—	»	—	—	—	—	—	Следы	—	Следы
Сумма . .	100,48	99,95	100,56	100,63	100,85	100,89	100,78	99,85	100,28	100,81

1, 2—вулканический шлак; 3, 4—порода, слагающая вулканическую бомбу; 5, 6—андезито-базальт; 7, 8—базальт; 9, 10—бурый шлак, Октемберянский район.

из пепловых отложений преимущественно темно-серых цветов. Эти данные наглядно свидетельствуют об изменении характера шлаковых извержений в зоне четвертичного вулканизма. Наблюдается усиление эксплозивных проявлений с юго-востока на северо-запад.

Изучение шлаковых конусов Армении позволяет сделать ряд предварительных выводов о механизме их образования. Во всех типах шлаковых конусов отмечаются четыре основные стадии развития, последовательно изменяющие их строение и морфологию: 1) выбросы газов и



Фиг. 2. Кривые нагревания образцов вулканического шлака из Октемберянского района

Химические составы см. в табл. 1 (1—обр. 9, 2—обр. 10)

пеплового материала; 2) накопление более грубообломочных рыхлых шлаков и создание первичного конуса небольших размеров; 3) излияние лав, преимущественно из-под основания конуса; 4) излияние лав, богатых летучими, из вершинной части (кратера) и затухание эксплозий.

В ряде случаев происходит ритмичное повторение первых трех стадий развития вулканов. При этом образуются крупные вулканические постройки сложного строения (типа стратовулканов). В подобных аппаратах наблюдается чередование лав и обломочных шлаков. Почти во всех случаях залегание шлаков периклинальное под углом  $10-30^\circ$ .

В указанной последовательности формируются определенные типы шлаковых конусов, отличающиеся друг от друга геолого-морфологическими и прочими генетическими особенностями. Нами выделяются шесть типов конусов.

1. Конусы высотой до  $30-50$  м без кратера либо с неглубокой центральной воронкой. Шлаки мелкообломочные ( $5-10$  см), залегание пологое ( $10-15^\circ$ ). Образуются в две стадии (первая и вторая).

2. Конусы высотой  $200-300$  м, правильной формы, в большинстве случаев имеют плоскоусеченную вершину. Четко проявляются четыре стадии развития.

3. Конусы с пологими склонами высотой до  $100$  м. Характерны мощные (до  $20$  м) слоистые покровы шлаков.

4. Близок 3 типу. Отличие заключается в том, что на вершине залегают покровные базальты мощностью  $2-3$  м с выклиниванием к периферии. Встречаются сравнительно редко.

5. Конусы данного типа отличаются относительно малыми размерами ( $100$  м в диаметре), пологими склонами ( $10-15^\circ$ ), отсутствием центрального кратера, наличием шлака с высоким объемным весом ( $1300-1500$  кг/м<sup>3</sup>) и нескольких подводящих каналов. Каналы имеют форму разновозрастных даек, состоящих из базальта. Встречаются редко.

6. Сложные конусы отличаются наклонным выбросом материала и созданием подковообразных либо полукольцевых конусов. Последние проходят все четыре стадии развития. Высота  $50-150$  м. Приведенные данные позволяют сделать следующие соображения по генезису вулканических шлаков вообще.

Вулканические шлаки — вспученное стекло, образовавшееся в результате эффузивно-взрывной деятельности вулканов. В структурном отношении они резко отличаются от кислых вулканических стекол, сформировавшихся в результате эффузивного процесса. Находясь под большим давлением, при высокой температуре магма поглощает значительное количество летучих.

В последнее время лабораторные опыты показали, что смеси, богатые кремнеземом, в расплавленном состоянии под давлением могут поглощать от  $10$  до  $15\%$  воды. С другой стороны, во время кристаллизации магмы происходит выделение большого количества газов, растворенных в ней, т. е. происходит вскипание магмы.

Образование вулканических шлаков связано со способностью магмы удерживать летучие в растворенном состоянии: чем большее количество газов удерживается расплавом, тем сильнее может быть взрыв. Многочисленные измерения температур лавы вулканических аппаратов показали, что силикатный расплав обладает температурой  $1050^\circ$ ; при резком снижении давления основная магма освобождает более  $80\%$  воды и, вспучиваясь, переходит в пенистую массу. В дальнейшем происходят выбросы сильно вспученных шлаковых обломков. Величина обломков и толщина стенок пузырьков зависят от степени вспучивания расплава. Ритман (1964) считает, что как только объем пироматмы становится в  $3,8$  раза больше, чем первоначальный объем магмы средних глубин, пузырьки приходят в состояние соприкосновения и резко уменьшается толщина разделяющих их пленок. Дальнейшее увеличение вспучивания приводит к разрыву пузырьков и образованию мелкообломочных фракций.

Шлакообразование в основном происходит в верхних зонах вулканических очагов, где пиромagma под действием раскаленных газов расширяется, резко уменьшается плотность расплава и под действием газовых потоков отдельные куски выбрасываются в воздух. Первоначально раскаленная пенная лава остывает на поверхности вулкана до 750—800° С. Полное застывание происходит на воздухе, и образуется быстро охлажденное, сильно пузыристое вулканическое стекло. На основе изложенного можно сказать, что физико-механические свойства вулканических шлаков и подобных вулканических пород предопределяются условиями их образования, т. е. их генезисом. Физико-механические свойства продуктов вулканических выбросов позволяют установить некоторые параметры для магмы, из которой образованы вулканические шлаки. Приняв плотность расплава до вспучивания равной плотности базальта, можно рассчитать степень вспучиваемости расплава при шлакообразовании (табл. 2).

Таблица 2

**Физико-механические свойства природных шлаков**

Месторождение	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Пористость, %	Коэффициент вспучивания	Сопротивление сжатию, кг/см <sup>2</sup>
Шенуайрское . . . . .	788—935	20—56	1,26—2,12	410—1088
Сисианское . . . . .	446—470	53—68	2,12—3,1	113—219
Аванское . . . . .	794—920	53—65	2,12—2,86	91—297
Кармрашенское . . . . .	375—420	58—79,5	3,11—4,7	52—209
Джермукское . . . . .	936	47—54	1,89—2,17	193—265
Аринджское . . . . .	968	38—63	1,61—2,7	224—504

Приняв удельный вес массивного базальта равным 2,6—2,8, на основе данных табл. 2 можно утверждать, что коэффициент вспучивания при шлакообразовании варьирует от 1,25 до 4,7, причем максимальное значение коэффициента вспучивания характерно для Кармрашенского шлака, а минимальное — для Шенуайрского. Количество стекла в породе находится в обратно пропорциональных соотношениях. При максимальном содержании стекла вокруг пор создается толстая и весьма прочная пленка стекла, а при минимальном — весьма тонкая.

Из приведенных данных вытекает основной вывод, что физико-механические свойства вулканических шлаков в основном зависят от степени вспучивания вулканического стекла. Можно утверждать, что как прочностные, так и весовые характеристики вулканических шлаков имеют прямую зависимость от содержания и степени поризации вулканического стекла.

Учитывая данные лаборатории легких заполнителей Научно-исследовательского института камня и силикатов (Саакян, 1959), можно установить связь между прочностью шлака и его генезисом.

В табл. 2 приведены физико-механические свойства вулканических шлаков в естественном состоянии и их объемные веса.

Области применения вулканических шлаков непрерывно расширяются; подсчитанные запасы на 1 января 1966 г. составляют 116,4 млн. м<sup>3</sup>, однако разрабатывается лишь часть месторождений с запасами 68,9 млн. м<sup>3</sup>, т. е. около 77% разведанного объема. Масштабы запроектированного использования шлаков в качестве легких заполнителей к 1970 г. составят лишь 1 млн. м<sup>3</sup> в год.

Для правильного выбора методики разведки можно рекомендовать применение математического анализа по методу В. В. Богацкого (1963). Так как вертикальный и горизонтальный разрезы залежей



сходны, существует возможность для разрядки разведочной сети и упрощения метода опробования. Применяя рациональную систему, можно сократить объем выработок на 50%, дорогостоящие шурфы заменить скважинами (на 80%), а также упростить опробование шлаков, применив точечный либо валовый способы отбора проб. Шурфы целесообразно размещать в центрах квадратной сети, а по углам расположить скважины. Таким образом, расстояние между выработками по квадратной сети можно увеличить для категорий А до 200—300 м, В до 300—400 м и С до 400—800 м. Следует также отметить, что разрядка сети не должна носить произвольный характер, она должна максимально отвечать природным условиям и при необходимости следует воздержаться от подобного рода изменений. По нашим подсчетам, принятие указанных рекомендаций позволяет сократить расходы на разведку шлаков в размере до 50% и более. Эксплуатация должна проводиться механизированными карьерами с попутным фракционированием и дроблением материала.

За последнее десятилетие были обнаружены и исследованы свыше 40 месторождений вулканических шлаков, из которых эксплуатируется 7 месторождений с годовой добычей 800 тыс. м<sup>3</sup>.

Потребность СССР в легких заполнителях составляет 35 млн. м<sup>3</sup>. В связи с тем, что слабо используются природные заполнители, большие средства тратятся на создание искусственных материалов. Между тем Советский Союз является обладателем большей части мировых запасов природных легких заполнителей (месторождения Армении и Дальнего Востока).

На базе вулканических шлаков в Армении запроектирован и строится Кармрашенский комбинат легких строительных материалов производительностью 1 млн. м<sup>3</sup> фракционированного вулканического шлака. Близ Еревана на базе Аванского месторождения впервые в СССР в 1957 г. созданы шлакодобывающие предприятия производительностью 200 тыс. м<sup>3</sup> в год. Свыше семи месторождений вулканических шлаков нами рекомендованы для строительства гидротехнических сооружений.

С 1961 г. вулканические шлаки успешно применяются на строительстве гидроэлектростанций и в комплексе с другими материалами для возведения арочных плотин, туннелей и других гидротехнических сооружений из бетона марок 150—300. Имеется опыт применения вулканических шлаков в ирригационном строительстве. Особое значение приобретают вулканические шлаки в связи с программой строительства в новой пятилетке. На основе вулканических шлаков возможно получение жаростойких бетонов и сверхпрочных материалов, обладающих высокими диэлектрическими свойствами.

Помимо строительства, вулканические шлаки могут быть с успехом применены в других областях народного хозяйства в качестве тепло- и звукоизоляционных материалов, адсорбентов, фильтров, кислотостойких изделий, пигментов. Путем химической переработки из шлаков можно извлекать глинозем, железо и другие компоненты.

Научно-исследовательский институт камня и силикатов (г. Ереван).

## КРАТКАЯ ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАЧИКИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ПЕРЛИТА

Камчатка весьма богата каменными строительными материалами. В промышленности, однако, они применяются в небольших масштабах или совсем не используются. В связи с расширением строительства на востоке Союза особое значение приобретают такие новые и весьма эффективные строительные материалы, как пемза, шлак и перлит.

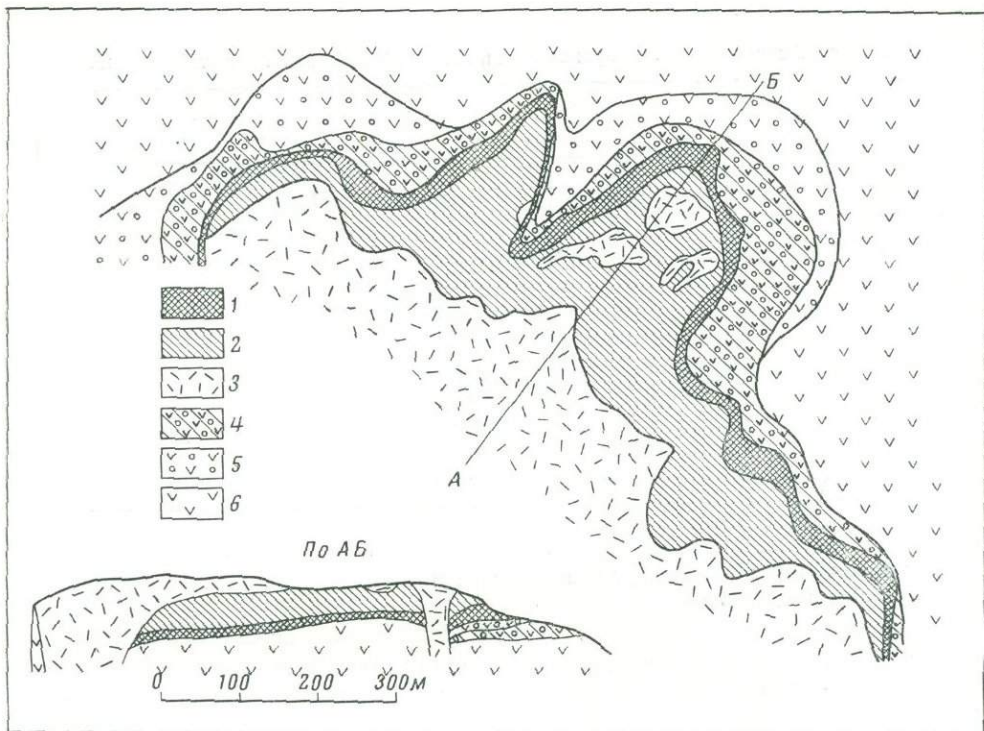
Ниже приводится характеристика одного из перлитовых месторождений, которое благодаря значительным запасам и выгодным транспортным условиям может быть рекомендовано для эксплуатации. Месторождение расположено в 90 км на запад от г. Петропавловска по прямой и в 8 км к югу от пос. Начики; разведывалось оно геологами Камчатского геологического управления Б. Я. Зиманом и А. В. Куркиным в 1959—1960 гг.

Месторождение находится у подножья полуразрушенного вулкана Шапочка, действовавшего в верхне-плиоцен-четвертичное время. Полигенный стратовулкан Шапочка сложен преимущественно породами андезито-базальтового и андезитового составов, но заключительные экструзии представлены липаритами. К одной из таких экструзий приурочивается описываемое месторождение. Липариты слагают здесь купол, к востоку от которого отходит лавовый поток, и у самой кромки он усложнен еще одним небольшим экструзивным куполом. Направление движения лавового потока происходило с юго-запада на северо-восток. Поток липаритовой лавы залегает на породах андезитового состава: излившихся андезитах, их агломератных туфах и туффитах.

Общая мощность потока липарита около 100 м. Фронтальная часть лавового потока сложена вулканическими стеклами изменяющейся мощности (карта). В нижней части они представляют собой брекчированный перлит, переходящий в кластолаву, в которой обломки и глыбы перлита черного цвета сцементированы тонкопористой лавовой массой белого цвета, вероятно, образованной за счет вспучивания и сплавления мелкого обломочного материала в результате вторичного разогрева. Выше залегает трещиноватый перлит. По мере движения вверх от контакта трещиноватость перлита уменьшается и он постепенно переходит в обсидиан. Граница между перлитом и обсидианом проведена условно, по количеству конституционной воды, равной 1%. Далее вверх от контакта трещиноватость в обсидиане уменьшается и он постепенно приобретает хорошо заметную флюидальность. Затем в обсидиане появляются прослои липарита мощностью в несколько миллиметров. Количество прослоев постепенно увеличивается, и начинается следующая зона переходных пород от липаритов к обсидианам, названная зоной такситовых пород. Еще выше залегают липариты. Последние пористы, причем объем пор иногда достигает 30%. Пологое залегание лавового потока, сложенного вулканическими стеклами, позволяет отработать значительное количество стекол без вскрышных работ.

Перлит образует пластообразное тело мощностью до 18 м. Цвет его темно-серый и светло-серый. Содержание конституционной воды колеблется от 1 до 5,2%, количество воды закономерно увеличивается сверху вниз. В перлитах наблюдается скорлуповатая отдельность, которая по мере движения вверх от контакта постепенно исчезает.

Мощность обсидиановых пород от 2 до 27,5 м. Макроскопически об-



Схематическая геологическая карта Начикинского месторождения кислых вулканических стекол

1 — перлит; 2 — обсидиан; 3 — липарит; 4 — туффы андезита; 5 — агломератовые туфы андезита; 6 — давяные потоки андезита

сидиан данного месторождения отличается от перлита отсутствием скорлуповатой отдельности, более четкой флюидалностью и меньшей трещиноватостью. Содержание конституционной воды в нем колеблется от 0,23 до 1%.

Переходные породы (такситы) мощностью от 3 до 7,6 м образуют зону, в которой наблюдается переслаивание линзовидных полос обсидиана (перлита) и липарита мощностью от 1 до 20 мм. По мере движения от слоя обсидиана к липариту мощность и количество прослоев липарита увеличиваются, а мощность прослоев обсидиана убывает. Это позволило выделить ряд разновидностей (эвтакситовые обсидиан и липарит). Иногда такситы представлены прослоями перлита и липарита или наблюдается беспорядочное включение липарита в обсидиане или обсидиана в липарите и создается атакситовая текстура.

Липариты в области развития стекловатых пород имеют мощность 22 м; далее на юго-запад она возрастает. Порфиновые выделения в липаритах и кислых стеклах одни и те же. Они составляют 1—3% и представлены плагиоклазом № 31—32, а иногда до № 40, часто зональным, бурыми пластинками биотита, очень редко кварцем, роговой обманкой и пироксеном. В качестве аксессуарных присутствуют магнетит, апатит, циркон и сфен. В перлите под микроскопом наблюдающиеся сферические трещины создают впечатление луковичного строения. Стекло в обсидиане бесцветное с показателем преломления  $1,448 \pm 0,002 - 0,004$ , содержащее большое количество бакулитов и трихитов, расположенных субпараллельно. Липариты обладают олигофировой, микрофельзитовой и сферолитовой структурой основной массы. Сферолиты имеют концентрическое и радиально лучистое строение. Они сложены стеклом и кри-

Таблица 1

Химический состав (в вес. %) вулканических стекол Начикинского месторождения

Компонент	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub> . . . . .	74,32	74,00	71,08	73,68
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,18	0,13	0,16	0,14
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	12,79	13,57	15,35	13,39
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,33	0,31	1,01	0,34
FeO . . . . .	0,63	0,71	0,39	0,91
MnO . . . . .	0,08	0,05	0,08	0,07
CaO . . . . .	0,72	0,60	0,59	0,60
MgO . . . . .	0,28	0,28	0,42	0,32
K <sub>2</sub> O . . . . .	4,62	4,68	3,95	4,22
Na <sub>2</sub> O . . . . .	4,95	5,40	4,17	4,56
П.п.п. . . . .	0,64	0,58	2,82	1,56
Сумма . . . . .	99,54	100,31	100,02	99,79

1, 2 — обсидиан; 3, 4 — перлит. Аналитики: Р. Ю. Маслова, М. Г. Бутакова, Камчатское геологическое управление.

стобалитом. Как видно из табл. 1, все анализы показали высокое содержание кремнезема — 71—74%. Количество кристаллизационной и гигроскопической воды в перлитах по сравнению с другими разновидностями резко возрастает.

Оптимальная температура вспучивания перлитов определялась опытным путем. Для этого производилось вспучивание перлита в температурном интервале от 900 до 1200°<sup>1</sup>. Перед испытанием пробы песка предварительно дробились на щековой дробилке, измельчались в шаровой мельнице и классифицировались на две фракции: <0,5 и 0,5—1,5 мм. Кроме того, испытывался щебень (фракция 5—10 мм). Наилучшие результаты получены для щебня. Оптимальные температуры вспучивания составляют 900—950°С. Объемный вес щебня в куске изменяется от 0,33 до 0,8 г/см<sup>3</sup> (среднеарифметическое из 20 определений 0,47 г/см<sup>3</sup>), объемно-насыпной вес — от 0,20 до 0,75 г/см<sup>3</sup> (среднеарифметическое из 20 определений 0,321 г/см<sup>3</sup>). При обжиге происходит слипание отдельных обломков и налипание их на футеровку печи. Добавка кварцевого песка несколько уменьшает, однако не устраняет полностью это налипание.

Кроме испытаний в лаборатории начикинские перлиты и обсидианы подвергались исследованию на вспучиваемость в производственных условиях. Было исследовано пять проб (1, 1а, 2, 3, 4). Из материала пробы 1 были получены песок и щебень. Вспученный песок получен из фракций 0,0—0,5 и 0,5—1,5 мм. Характеристика вспученного песка следующая: а) фракция 0,0—0,5 мм, насыпной объемный вес 200 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент вспучивания 5, механическая прочность 8,1 кг/см<sup>2</sup>; б) фракция 0,5—1,5 мм, насыпной объемный вес 250 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент вспучивания 4,4, механическая прочность 9,9 кг/см<sup>2</sup>. Обе фракции вспучены при температуре 1100±20°. Вспученный щебень из этой пробы получен при температуре вспучивания 1050° через 2—3 мин после

<sup>1</sup> Технологические свойства стекол изучались в лаборатории треста «Камчатрыбстрой» в г. Петропавловске, Научно-исследовательском институте строительных материалов Министерства промышленности строительных материалов в Киеве, в лаборатории стройматериалов ДВПИ Владивостока и в Северо-Восточном комплексном научно-исследовательском институте СО АН СССР в г. Магадане.

поступления в печь. Объемный вес в куске его составляет 100—230 кг/м<sup>3</sup>, насыпной объемный вес 110 кг/м<sup>3</sup>, прочность на сжатие в цилиндре 6,8 кг/см<sup>2</sup>. При вспучивании отмечено некоторое налипание материала на футеровку печи и частичное спекание обломков. Уменьшение температуры вспучивания до 950—1000° вызывает недовспучивание щебня. Насыпной объемный вес щебня в этом случае равен 0,42—0,56 т/м<sup>3</sup>. Из материала пробы 1а получен только вспученный песок с насыпным объемным весом для фракции 0,0—0,5 мм 170 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент вспучивания 7, механическая прочность 8,7 кг/см<sup>2</sup>; для фракции 0,5—1,5 мм—240 кг/см<sup>3</sup>, коэффициент вспучивания 5, механическая прочность 9,7 кг/см<sup>2</sup>. Температура вспучивания, так же как и в пробе 1, составляла 1100±20°. Материал фракции 0,5—1,5 мм в пробах 1 и 1а вспучивается несколько хуже. В шахтной печи большая часть зерен крупнее 1,5 мм просыпается вниз, не успевая вспучиваться. Из проб 2, 3, 4<sup>1</sup> во вращающейся печи получен только вспученный щебень; физические свойства сырца и вспученного перлита приведены в табл. 2.

Таблица 2

Физико-механические свойства перлита до (1) и после (2) обжига при 1080—1100° (производственные испытания)

Номера объединенной пробы	1				2		
	удельный вес, г/см <sup>3</sup>	объемный вес, г/см <sup>3</sup>	пористость, %	водопоглощение, %	объемный вес в куске, кг/м <sup>3</sup>	объемно-насыпной вес, кг/м <sup>3</sup>	механическая прочность щебня, кг/см <sup>2</sup>
2	2,38	2,27	4,62	16,1	400—750	300	11
3	2,38	2,23	6,30	17,2	320—340	360	10
4	—	—	—	—	—	344	9.

В результате следует сказать, что Начикинское месторождение надо рассматривать как весьма крупное. Расположено оно в выгодных транспортных условиях. Однако проведенные технологические исследования не выявили всех качественных особенностей сырья данного месторождения, поэтому необходимо продолжить работы в этом направлении.

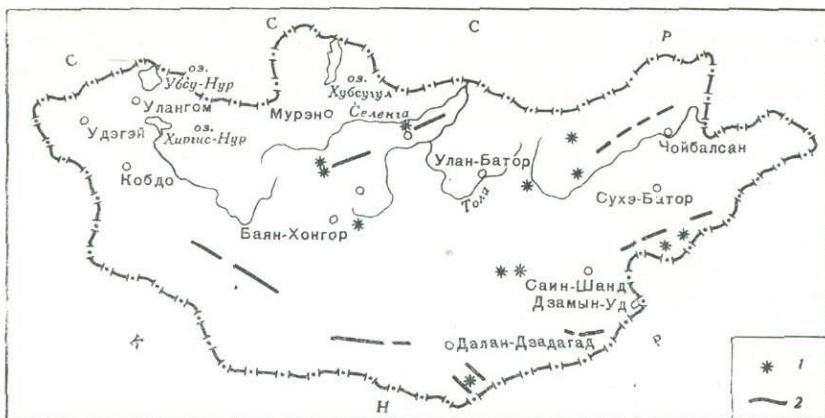
Институт вулканологии СО АН СССР  
Камчатское геологическое управление

В. П. ЕРЕМЕЕВ

## ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ШЛАКИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ МОНГОЛИИ

В Монгольской Народной Республике в настоящее время бурными темпами развивается промышленное и жилищное строительство, и в связи с этим исключительно важное значение приобретает проблема строительных материалов. Высокая сейсмичность этой области и существование на большой территории вечной мерзлоты весьма остро ставят проблему получения легких бетонов. В качестве заполнителей

<sup>1</sup> Проба 4 составлена из всех лабораторных проб, отобранных в 1960 г.

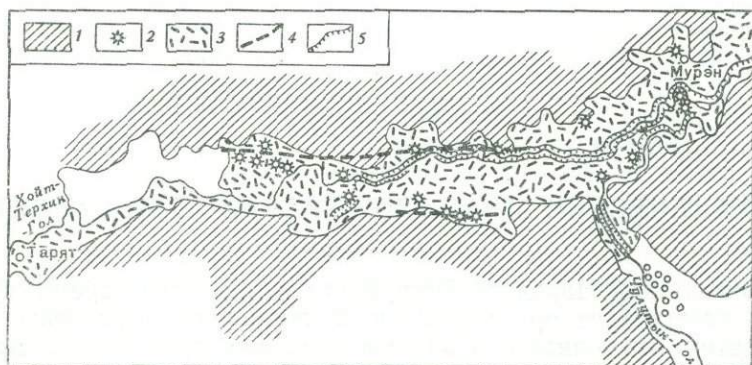


Фиг. 1. Схематическая карта вулканов Монгольской Народной Республики  
1 — вулканы; 2 — разломы

обычно широко применяются естественные вулканические шлаки, которые обладают большой пористостью, малым объемным весом и сравнительно высокой прочностью. Благодаря этим свойствам на основе шлака можно получить прочные и легкие бетоны.

В Монголии широко распространены вулканические аппараты, приуроченные к глубинным тектоническим разломам юрского периода. Наибольшее их количество сосредоточено в Даригангской области и в Хангайском горном районе (фиг. 1). Возраст большинства вулканов четвертичный. В Даригангской области, по данным В. И. Влодавца (1955), насчитывается 222 вулканических аппарата, которые имеют конусовидную форму. Наиболее крупные из них Баян-Цаган (1518 м), Дзодол-Хан (1425 м), Ундур (1419 м) и др. Относительные превышения вершин вулканов над окружающей их местностью достигают 200—300 м. На вершинах многих вулканов прекрасно сохранились кратеры. Вулканические конусы образованы базальтами различных типов, часто с характерной шлаковой текстурой. На склонах их в большом количестве встречаются бомбы и лапилли.

Вторым районом Монголии, где весьма обильно распространены вулканы, является Хангайский горный район. Здесь вблизи оз. Тэрхин-



Фиг. 2. Схематическая карта вулканического района оз. Тэрхин-Цаган-Нур (по Ю. С. Желубовскому)

1 — дочетвертичные осадочные метаморфизованные породы; 2 — четвертичные вулканы; 3 — четвертичные лавовые потоки и покровы; 4 — линии предполагаемых разломов; 5 — уступы и обрывы лавовых потоков и покровов

Цаган-Нур расположена большая группа вулканов, имеющих форму конусов. Ряд вулканов (около 20) расположен в бассейне р. Сумэин-Гол, вытекающей из оз. Тэрхин-Цаган-Нур (фиг. 2). Высота этих вулканов 175—200 м; на вершине имеются хорошо выраженные кратерные углубления до 60—70 м по вертикали. Стенки кратеров сложены стекловатой пузыристой лавой. Наиболее характерный северный вулкан этой группы носит название Ихэ-Анг. Это почти правильной формы вулканический конус, на стенках которого преобладают пористые лавы кирпично-красного и темно-коричневого цвета.

Известны вулканы близ р. Селенгин-Гол, на левом берегу р. Ихэ-Тулбурн-Гол (они имеют также правильную коническую форму) высотой до 100—150 м. Главнейшими из них являются вулканы Ихэ-Тогоо, Бага-Тогоо, Бурхэ. Некоторые отдельные вулканы расположены и в других районах Монголии, но они также приурочены к тектоническим разломам. Судя по тому, что некоторые шлаковые конусы (Уран-Тогоо, вулканы Даригангской области и др.) расположены на базальтовом фундаменте, их можно рассматривать как более поздние по сравнению с базальтовыми. Так как общая геоморфологическая характеристика вулканов Монголии приведена в работе Ю. С. Желубовского (1958), а петрографическое описание пород в работе Т. М. Окновой (1940), мы остановимся на характеристике вулканов, сложенных шлаками, которым до сих пор уделялось мало внимания несмотря на то, что они весьма интересны как источник легких заполнителей бетона. Перечисленные выше вулканические конусы обычно сложены пористыми шлаками; плотные базальты, как правило, залегают в виде потоков.

Нет надобности останавливаться подробно на описании каждого такого шлакового конуса, так как условия их образования, состав слагающих пород в общем довольно близки. Ниже приведено описание вулкана Уран-Тогоо как наиболее типичного и находящегося в наиболее благоприятных экономико-географических условиях.

### ВУЛКАН УРАН-ТОГОО

К северу от аймачного центра Булган, в 1 км от хорошей автомобильной дороги Булган-Морен, расположен потухший вулкан Уран-Тогоо. Высота его достигает около 200 м. Вулкан имеет конусовидную форму, диаметр основания около 3 км (фиг. 3). На вершине вулкана



Фиг. 3. Потухший вулкан «Уран-Тогоо»

сохранился прекрасно выраженный кратер диаметром около 200 м и глубиной около 50 м. Конус вулкана с поверхности сложен преимущественно пузыристыми шлаками. В средней его части, на склоне горы, пройдены несколько шурфов глубиной до 5 м, которые нигде не вышли за пределы шлаковых образований. На поверхности вулкана, чаще вблизи кратера, сохранились вулканические бомбы различных размеров (от 10—15 см до 1 м). Встречаются бомбы шлаковые, закрученные, уплощенно-округлые и бомбы типа хлебной корки. Чаще всего встречаются шлаковые и закрученные бомбы. Лапилли представляют собой мелкие обломки лавы, по морфологии весьма напоминающие шлаковые бомбы.

### Петрографическое описание шлаков

Петрографический состав пород, слагающих данный вулкан, довольно однообразен. Они сложены продуктами кристаллизации оливинно-базальтовой магмы. Пористость шлаков различна. Преобладают сильно пористые разности; реже встречаются более плотные породы, содержащие относительно небольшое количество мелких пор. Они характеризуются черным цветом и расположены преимущественно у основания конуса.

Пористые шлаки (обр. 58) имеют типичную пузыристую текстуру и темно-коричневую окраску. Поры преимущественно округлые. Размер пор колеблется от 1—2 до 8 мм. Строгой закономерности в распределении пор определенного размера не наблюдается. Под микроскопом видно, что вулканическая порода состоит преимущественно из буроватого стекла ( $N=1,567 \pm 0,002$ ), содержащего массу мелких удлиненных кристаллов плагиоклаза — лабрадор № 54 ( $N_g=1,559 \pm 0,002$ ,  $N_p=1,567 \pm 0,002$ ), образующих текстуру, близкую к флюидальной. В стекло включен ромбический пироксен, образующий порфиновые вкрапленники. Внутри кристаллов местами видны включения стекла. Реже встречаются вкрапленники оливина.

В большом количестве присутствуют также мелкие зерна магнетита, имеющие местами игольчатую форму.

Химический анализ этого образца приведен в табл. 1. Судя по химическому составу, вулканический шлак отличается повышенной щелочностью. Эта же особенность характерна и для базальта из потока (табл. 1, обр. 1).

Таблица 1

Химический состав (вес. %) основных пород Монголии

Компонент			Компонент		
	1	2		1	2
SiO <sub>2</sub> . . . .	51,62	46,08	Na <sub>2</sub> O . . . .	5,04	3,98
TiO <sub>2</sub> . . . .	1,76	1,15	K <sub>2</sub> O . . . .	5,40	3,22
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	16,98	13,62	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . .	0,00	1,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	1,13	8,45	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . .	0,23	0,46
FeO . . . .	7,02	4,16	П.п.п . . . .	—	0,45
MnO . . . .	0,06	0,01			
MgO . . . .	5,17	8,82	Сумма . . . .	100,01	99,97
CaO . . . .	5,60	8,55			

1—базальт, р. Орхол; 2—шлак, Уран-Тогоо (обр. 54). Аналитик М. Г. Замуруева, ИГЕМ АН СССР.

Наиболее плотные разности вулканических шлаков (обр. 43), залегающие у основания конуса, как указывалось выше, представлены



Таблица 2

## Физические свойства вулканических шлаков

№ обр.	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	Пористость истинная, %	Временное сопротивление сжатию, кг/см <sup>2</sup>	Размер пор, мм
58	2,902	0,81	72,10	27	2—8
64	2,927	0,82	72,00	75	5—8
48	2,901	1,06	63,47	96	2—3
48а	2,899	1,43	50,67	133	1—3

Аналитик Е. А. Сапина.

темно-серой, почти черной породой, на фоне которой выделяются игольчатые лейсты плагиоклаза размером 1—2 мм.

Под микроскопом в породе отчетливо проявляется порфировая структура породы и флюидальная текстура мелкозернистой основной массы. Порфировые вкрапленники представлены ромбическим пироксеном и реже оливином. Внутри них иногда наблюдаются включения стекла с мелкими кристаллами плагиоклаза. В основной массе преобладают кристаллы плагиоклаза (лабрадор № 54). Значительно реже встречаются мелкие зерна пироксена и магнетита. Стекло имеет показатель преломления  $1,541 \pm 0,003$ . В некоторых образцах (обр. 44) по трещинкам и в пустотах наблюдается выделение карбоната.

Вулканические бомбы в краевых частях обычно сложены относительно плотными разностями шлаковых пород, центральные же их части более пористы. Под микроскопом видно, что в краевых частях бомб (обр. 51) поры имеют почти идеально округлую форму (размер в среднем 0,2 мм).

Структура породы порфировая, текстура основной массы флюидальная. Вкрапленники представлены исключительно ромбическим пироксеном. В основной массе преобладают стекло и микролиты плагиоклаза. Реже встречаются мелкие зерна пироксена.

Центральные части бомб обладают несколько более высокой пористостью. В остальном они аналогичны краевым частям.

### О генезисе и физических свойствах шлаков вулкана Уран-Тогоо

Извержение, в результате которого образовался вулкан, по-видимому, близко к стромболианскому типу. Раскаленная лава была насыщена газами, которые, выделяясь со взрывами, выбрасывали комки еще пластичного, раскаленного материала, превращающегося в полете в шлак и в веретенообразные и закругленные бомбы. После многократных выбросов образовался вулкан конусовидной формы, сложенный пористыми шлаками.

Вулканические шлаки по форме пор, размерам, а также удельному весу и временному сопротивлению сжатию не совсем однородны (табл. 2). Среди них встречаются сильно пористые шлаки (обр. 58) с округлой формой пор, которыми в основном сложен шлаковый конус. Реже присутствуют шлаки (обр. 64), поры которых имеют несколько большие размеры и вытянутую форму. Они залегают в нижних частях склонов. Физические свойства этих шлаков, исключая сопротивление сжатию, довольно близки предыдущим. Встречаются черные шлаки (обр. 48, 48а), неоднородные по пористости, удельному и объемному весам, а также обладающие повышенным временным сопротивлением

сжатию. Среди них имеются пористые и относительно плотные разновидности. Последние характеризуются мелкими порами сплюснутой формы. Они залегают в наиболее пониженных частях конуса. Таковыми породами часто сложены внешние части крупных вулканических бомб.

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что шлаки вулкана Уран-Тогоо вполне пригодны в качестве заполнителей легких бетонов. С глубиной и к центру конуса количество пористых разновидностей шлаков, по-видимому, будет уменьшаться. Следует еще раз подчеркнуть весьма выгодное географическое расположение описанного выше шлакового конуса и возможность добычи сырья открытым способом, что в значительной степени удешевит его стоимость.

Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии  
АН СССР

СВОЙСТВА ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ,  
МЕТОДЫ ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ТЕХНОЛОГИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ

---

П. П. БУДНИКОВ

ОСНОВЫ ПРОИЗВОДСТВА ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА

Почти 30 лет назад нами были проведены экспериментальные работы, которые положили начало развитию промышленности по переработке вулканических стекол. В настоящее время эти стекла добываются и перерабатываются во многих странах: Австралии, Греции, Венгрии, Болгарии, США, Чехословакии; в Канаде, Италии, Англии, Франции и некоторых других странах есть крупные фирмы по изготовлению оборудования для переработки.

В СССР вспученный перлит используется в основном как пористый наполнитель легких бетонов и как компонент теплоизоляционных материалов и засыпок; начинают применять и фильтровальные перлитовые порошки.

Уже длительное время эксплуатируются жилые дома, построенные из перлитобетонных и керамзитоперлитобетонных панелей во многих городах: Иркутске, Чите, Улан-Удэ, Киеве, Одессе, Днепрпетровске и др.

В США основная часть добываемого сырья используется для производства мелких фракций вспученного перлита для строительнo-штукатурных растворов (50%) и лишь 3% идет для целей теплоизоляции. Зато 20% используется в качестве компонента различных фильтров и 15% — в качестве наполнителя бетонов.

В нашей стране перлитовая порода применяется в качестве компонента керамической и стекольной шихты, для глазурей, как пуццолановые добавки к цементам. Проведены работы по кристаллизации перлитовых стекол и получению материала с высокой микротвердостью.

Таким образом, сейчас стоит реальная задача комплексного использования месторождения вулканического стекла. Это тем более важно, что объем добычи перлитовой породы все время возрастает.

В СССР строятся три мощных механизированных карьера, которые и должны в основном обеспечить в 1970 г. производство 1 млн. 271 тыс. м<sup>3</sup> вспученного перлита.

В США, где с 1946 по 1956 г. добыча перлитовой породы возросла с 5000 до 300 000 т, в последние годы добывается более 450 тыс. т породы, причем уже несколько лет наблюдается устойчивый ежегодный прирост в 10%, что является для США довольно высоким показателем. Производство вспученного перлита превышает 1 млн. м<sup>3</sup> в год.

За период с 1950 по 1963 г. во всем мире было опубликовано около 100 статей, так или иначе касающихся вопросов добычи, переработки и использования перлитов. Половину известных нам работ составляют

отечественные публикации. Особенно большой рост числа публикаций приходится на 1958—1963 гг. В этот период в СССР вышли три книги и несколько специальных сборников, посвященных проблеме перлита. Последние три года интерес к перлиту не снижается. Об этом свидетельствуют регулярно печатающиеся статьи в журнале «Строительные материалы», сборники трудов ряда научно-исследовательских институтов и, наконец, представительный состав настоящего совещания.

Производство вспученного перлита основано на его кратковременном обжиге при высоких температурах. Однако проведенные в последнее время исследования показали, что качество продукта в большой мере зависит от условий предварительной термической подготовки фракционированной породы. Если ранее термическая подготовка считалась обязательной для сравнительно многоводных перлитовых стекол типа мухорталинского, то теперь можно, по-видимому, рекомендовать ее и для вспучивания перлитов типа Арагацкого и Береговского месторождений. Специальные исследования показали, что, например, для мухорталинского перлита колебания в условиях термической подготовки оказывают на объемный вес продукта влияние в несколько раз более сильное, чем аналогичные колебания условий обжига.

Процесс освоения технологии вспучивания идет в двух направлениях: одно — изучение самого процесса поризации и его физико-химическое объяснение; второе — проектирование и использование промышленных агрегатов различного типа.

Работы первого направления в свою очередь исходили из нескольких предположек. Во-первых, изучалось влияние на процесс поризации минералогических и петрографических свойств исходной перлитовой породы, т. е. кристаллические включения, их распределение в массе перлитового стекла, а также общая характеристика пористости и трещиноватости.

Эти исследования выполнялись в основном микроскопическими методами. Роль указанных факторов обычно выявлялась путем сравнительного изучения образцов сырой и вспученной перлитовой породы. Эти исследования показали, что если пылевидные микровключения могут даже способствовать поризации, то вкрапленники и участки закристаллизованного стекла являются вредным балластом (допускается содержание вкрапленников не более 10—15%). Кроме того, стало известно, что поризация идет особенно активно по исходным перлитовым трещинам и что поры различных размеров могут быть овальными или округлыми. Во-вторых, рассматривались различные возможные причины поризации перлита при высоких температурах. Этими причинами в первую очередь могут быть образование в перлите газообразной фазы и достижение массой стекла пиропластического состояния.

Как в СССР, так и за рубежом была проведена серия работ по определению вида и характера газообразователей природного стекла, а также по изучению динамики их выделения при нагреве перлита с различной скоростью и в разных диапазонах температур.

На основании изучения был сделан вывод, что ценные промышленные свойства перлитов обуславливаются сочетанием легко вспучивающегося стекла липаритового состава, т. е. состава, близкого к эвтектике, с водой, являющейся вспучивающим компонентом и растворенной в стекле под различным давлением. Оказалось, что не всякая вода, находящаяся в породе, обладает способностью вспучивать стекло, а только та, которая растворена под определенным давлением и связана поэтому со стеклом определенными связями.

Большой интерес представляет исследование природы воды и ее влияния на свойства вулканического стекла. К наиболее значительным исследованиям в этой области относятся работы, в которых изучение проводилось различными физическими методами, в том числе методом

инфракрасной спектроскопии, дифференциально-термического анализа и термовесовыми методами.

Предполагается, что на поверхности алюмосиликатного каркаса располагается группа  $\text{OH}^-$ , а в центральной части полостей и каналов — ассоциированные молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ , связанные с гидроксильными группами водородной связью. Сила такой связи зависит от расстояния между  $\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{OH}^-$ , поэтому центральные молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ , наиболее удаленные от поверхности каркаса, связаны наименее прочно.

Это представление хорошо согласуется с данными инфракрасной спектроскопии; полосы поглощения на спектре свидетельствуют о присутствии молекул воды, обладающих различной энергией связи, и возможно, о присутствии молекул, принадлежащих к различным физическим типам воды.

Следует отметить, что вода в перлитах является не просто газообразователем; по-видимому, она оказывает большое влияние на изменение реологических характеристик стекол в процессе их нагрева и снижает температуру их плавления.

Выделение воды приводит к уплотнению стекла, благодаря чему увеличивается его вязкость при той же температуре, а также изменяется показатель светопреломления.

При невысоких скоростях нагрева зависимость логарифма вязкости перлитов от температуры в интервале температур  $700\text{--}1200^\circ\text{C}$  имеет в общем прямолинейный характер. При этом увеличение скорости нагрева усиливает вязкое течение стекла, что также говорит о влиянии летучих компонентов. Абсолютные значения вязкости в указанном температурном интервале меняются примерно от  $10^{12}$  до  $10^8$  пуаз.

Однако вязкость материала сильно изменяется, если создать противодавление водяных паров. Таким путем можно нагреть перлит без существенной дегидратации до весьма высоких температур и затем, сбросив внешнее давление, мгновенно его вспучить.

Следующим этапом при изучении физико-химических основ термической поризации перлита является переход от накопления данных о механизме процесса к математическим описаниям его кинетики и термодинамики, так как только таким путем можно создать прочную базу для получения материала с заданными структурными характеристиками.

Вначале были проведены исследования вспучивания методом кино съемки. Они позволили разбить процесс вспучивания на ряд этапов и проследить его общие тенденции. Далее стало известно о важных экспериментальных и теоретических работах, которые установили формальный первый кинетический порядок процесса вспучивания перлита и статистически подтвердили справедливость предложенного уравнения, причем это было сделано по технологическому параметру — объемному весу продукта.

Обработка данных количественной термографии сделала возможным рассчитать тепловые затраты кругового термодинамического процесса, каким и является вспучивание перлита. При этом было подтверждено, что во вспучивании участвует вся та «остаточная» вода, которая остается после термической подготовки породы.

Большой практический интерес представляют также исследования структуры пористости полученного перлита, проведенные методами ртутной пирометрии и электронной микроскопии. Использование последнего метода как бы дополняет проведенное ранее всестороннее оптическое изучение перлита. Эти исследования позволили не только проследить перлитовые концентрические отдельности в сырых и вспученных образцах, но и дать общую структурную характеристику материала.

При разработке технологии производства вспученного перлита основное внимание у нас в стране было уделено подбору типа и кон-

струкции печного агрегата, поскольку основные вопросы по дроблению, рассеву и транспортировке породы, так же как и транспортировке и рассеву готовой продукции, уже успешно решены в смежных отраслях промышленности и стоимостная доля этого оборудования сравнительно невелика. В настоящее время в отечественной и зарубежной промышленности применяются печи двух типов: вертикальные и горизонтальные.

Среди вертикальных печей хорошо себя зарекомендовали шахтные печи, в которых могут обжигаться мелкие фракции породы, так как готовая продукция уносится из печи в циклоны несильным потоком воздуха и дымовых газов. К этому же типу принадлежат печи кипящего слоя и так называемые вихревые печи, в которых процесс тепло- и массообмена идет интенсивнее, чем в шахтных печах.

Горизонтальные печи позволяют совместно обжигать крупные фракции породы, которые в этом случае перемещаются в печи самотеком по футеровке барабана, и мелкие, которые подхватываются потоком дымовых газов и уносятся в циклоны.

При необходимости проведения предварительной термической подготовки вместо одного агрегата сооружаются две однотипные печи. Здесь появляется возможность использовать тепло газов, отходящих из печи обжига.

На 1965 г. в СССР имелось 34 установки по производству вспученного перлита мощностью от 10 до 30 тыс.  $m^3$  в год (13 вращающихся печей и 21 шахтная печь, в том числе 19 в РСФСР, 11 в УССР и по одной в Армянской, Грузинской, Белорусской и Литовской союзных республиках).

В ближайшее время в соответствии с утвержденными типовыми проектами должно быть сооружено еще несколько поточных линий для производства перлитового песка, а также песка и щебня. Предполагается уделить большое внимание вопросам футеровки печей, охлаждению материала после обжига, транспортировке и рассеву породы, пневмотранспорту и классификации готовой продукции, ее хранению и т. п.

Исследования показали, что наилучшие результаты дает сжигание топлива внутри печного пространства при непосредственном контакте зерен перлита с факелом. В случае кратковременного воздействия факела зерна перлита хорошо вспучиваются, вязкость расплава в результате выделения воды повышается и после выхода из наиболее горячей зоны факела материал не слипается. Здесь были интересны опыты, в которых увеличивался или уменьшался объемный вес продукта за счет большего или меньшего оплавления зерен.

В настоящее время необходимо решить задачу автоматизации отдельных процессов и всего производства получения вспученного перлита в целом. В этом направлении уже были проведены некоторые работы. Одни из них основывались на зарубежном опыте контроля загрузки материала, другие были обусловлены аппаратными особенностями выбранных агрегатов. Наиболее перспективны, по-видимому, будут работы, в которые удастся заложить математические описания физико-химических основ процесса вспучивания (уравнения кинетики и термодинамики), т. е. так называемые статистические модели.

Таким образом, даже из этого краткого обзора видно, как много сделано и сколько еще предстоит сделать в области теории и практики производства вспученного перлита. Масса интересных вопросов возникает и при применении вспученного порошка в строительных целях — в панелях, в качестве теплоизоляционного материала, в виде одного из компонентов, входящих в кровельные облицовочные материалы, и т. д. Кроме того, химическая промышленность нуждается в новых эффективных сорбентах, катализаторах, фильтрующихся материалах. Для удовлетворения этих требований следует решить также физико-хими-

ческие проблемы, как, например, устойчивость материала в различных средах, его цеолитные свойства и многие другие.

Все это может стать темой большого самостоятельного сообщения, тем более, что в этом направлении ведутся такие же обширные работы, как и в области производства вспученного перлита. Темами работ охватывается все более широкий круг исследователей. Изучение формирования вулканических стекол, их свойств и месторождений, несомненно, будет и в дальнейшем занимать в науке о перлите очень важное место.

Московский ордена Ленина химико-технологический институт им. Д. И. Менделеева

М. А. КАШКАЙ, А. И. МАМЕДОВ

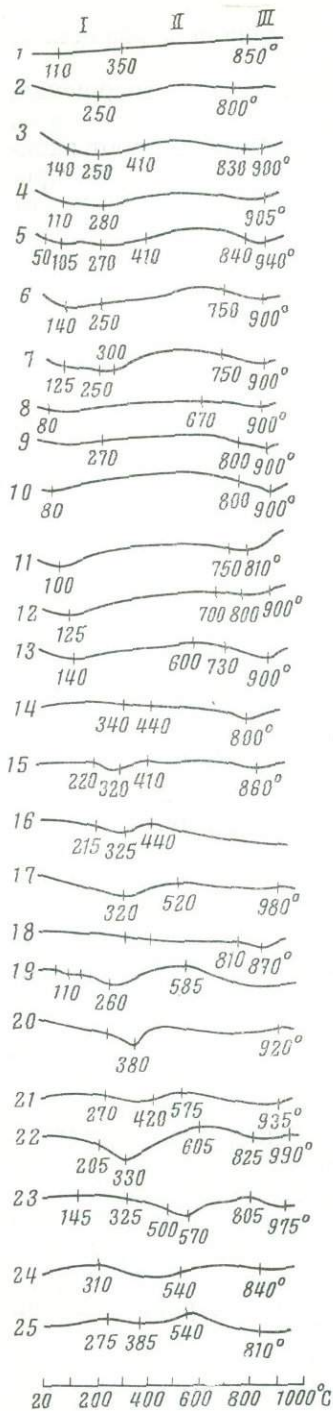
## ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕТАЧЕЙ ФАЗЫ В ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКЛАХ

Физико-химические свойства вулканических стекол зависят от условий формирования, а также определяются геологическим возрастом породы. Установлено, что палеозойские, мезозойские, третичные и четвертичные стекловатые породы различаются степенью раскристаллизации и, следовательно, содержанием летучих компонентов, главным образом воды. Содержание летучих в значительной степени определяет поведение стекол при нагревании; содержание воды и других летучих компонентов зависит от состава стекла. В кислых стеклах (производные вязкого расплава) их больше, нежели в основных.

Для вулканических стекол нами (Кашкай, Мамедов, 1961) были установлены следующие типы воды: 1) обсидиановая (обычно до 0,5); 2) обсидиан-перлитовая 1—2%; 3) перлитовая 2—6%; 4) пехштейновая 6—8%. Наиболее существенное влияние на вспучиваемость обсидиана и перлита оказывает обсидиановая вода.

Термический метод исследования обсидианов, перлита и пехштейна, впервые примененный нами (1953, 1961), позволяет установить присутствие в стекле двух типов воды: перлитовой и обсидиановой. В литературе известно всего 25 термограмм перлитов и обсидианов. Из них 13 приводится в нашей (Кашкай, Мамедов, 1961) работе, 4 — в работе В. В. Наседкина (1963) и 8 — С. П. Каменецкого (1963). Некоторые термограммы мы отбросили, так как они, на наш взгляд, не соответствуют типичным перлитам и характеризуют стекла с большим содержанием кристаллических примесей или относятся к другому классу пород; 25 термограмм нами приведены на фиг. 1. Для них характерны три эндотермических поля.

Первое охватывает две реакции, характерные как для обсидиана, так и перлита; реакцию выделения гигроскопической воды в интервале 20—110°, выделения перлитовой воды при изменении температур от 120 до 500°. Если на термограммах в данном температурном диапазоне появляются другие эндотермические и экзотермические остановки, то их следует связывать с примесями, содержащими летучие компоненты, например, с глинистыми минералами. Второе поле занимает промежуточное положение. В его пределах дифференциальная кривая постепенно поднимается вверх; по-видимому, оно соответствует фазовому перерождению стекла. Третье эндотермическое поле от 800 до 1000°, названное



Фиг. 1. Термограммы водосодержащих вулканических стекол

*I* — температурная область выделения перлитовой воды; *II* — подготовки к вспучиванию; *III* — выделения обсидиановой воды; 1—7 — перлит, Кельбаджарский район, Азерб. ССР; 8—13 — обсидиан, там же; 14 — обсидиан, Нурнус-Гутанасарский, поток, Арм. ССР; 15 — перлит, гора Шарок, Закарпатье; 16 — перлит, гора Ардов, там же; 17 — перлит, Семей-Тау, Казахстан; 18 — перлит, Фонтан-Джрабер, Арм. ССР; 19 — перлит, Затышня, Закарпатье; 20 — перлит, Параванское месторождение, Груз. ССР; 21 — перлит, Тургайское, Казахстан; 22 — перлит, Мухор-Тала, Забайкалье; 23, 24 — перлит, Заюково, Сев. Кавказ; 25 — перлит, Ташкесен (1—13 — Кашкай, Мамедов, 1961; 14—16 — Наседкин, 1963; 17 — Вершинина, 1959; 18—25 — Камедейский, 1963)

нами эксплозивным, характеризуется эксплозивным выделением обсидиановой воды и ряда летучих компонентов в виде газовой фазы. Кроме рассмотренных выше кривых нагревания для обсидиана и перлита, мы приводим также кривые потери веса (фиг. 2, а, б). Из рассмотрения кривых видно, что перлит в интервале температур 20—1000° выделяет 2,75—4,27%, а обсидиан — 0,28—0,66% воды.

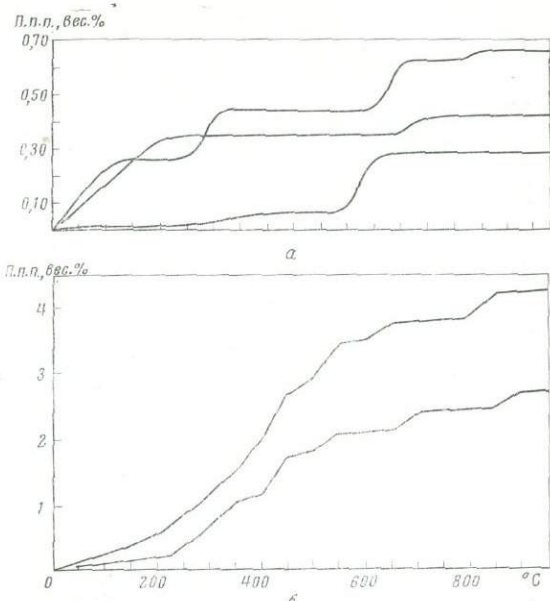
Явление вспучивания возможно при содержании в вулканических стеклах до 0,50% обсидиановой воды и некоторого количества газовой фазы. При отсутствии обсидиановой воды некоторые вулканические стекла (например, пехштейн) не способны к вспучиванию. В них перлитовая вода выделяется постепенно. Вспучивание типичных перлитов и обсидианов происходит в пределах от 800 до 1000°. Нами установлено, что увеличение температуры вспучивания до 1300° С находится в прямой зависимости от содержания кристаллических примесей в перлите и обсидиане. Это хорошо иллюстрируется графиком (фиг. 3), составленным нами по данным зависимости температуры и степени вспучиваемости перлитов и обсидианов ряда месторождений от содержания кристаллических примесей. Точки, попадающие в температурный интервал 1200—1300° С, соответствуют качественно низкосортным перлитам, т. е. таким, коэффициенты вспучивания которых составляют 2—3 (месторождения Семейтау, Архарлы, Тургайское в Казахстане, Богопольское в Приморье, Рокосово в Закарпатье и др.). Температурам 1100—1200° С на графике соответствуют перлиты с коэффициентами вспучивания 3,5—5,5 (Мухор-Тала, Арагац, Джарабер-Фонтан). Исключение составляет один образец перлита из Мухор-Талы, который вспучивается при 1150° и имеет коэффициент вспучиваемости 7. В температурном интервале 800—1000° происходит вспучивание перлитов из месторождений Кельбаджарского района Азербайджана (Кечалдаг, Девезю и др.) и Армении (Нурнус-Гутанасарское), коэффициенты вспучивания 8—10, а для некоторых перлитов из Азербайджана даже 15—20.



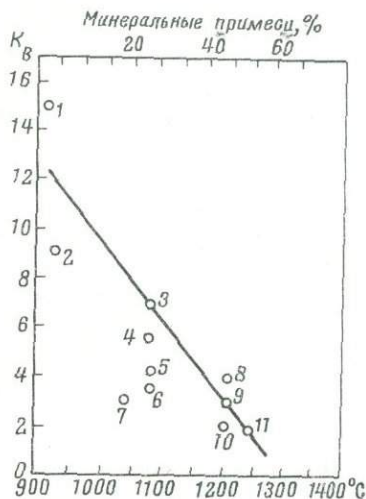
В одном и том же месторождении могут встречаться перлиты и обсидианы с различными коэффициентами и температурами вспучивания. Ранее нами было обращено внимание также на влияние размеров зерен (крупность помола перлита) на вспучивание (Кашкай, Мамедов, 1961). С уменьшением размеров зерен увеличивается степень вспучивания перлитов.

Вспучивание обсидианов и перлитов мы объясняем следующим образом: в момент вспучивания (800—1000°) перлит, уже потерявший перлитовую воду (до температуры 500°), приобретает метастабильное состояние и становится подобным обсидиану. При дальнейшем повышении температуры в перлите, а также и обсидиане возникают поры и ветвящиеся каналы, в которые устремляется газовая фаза — обсидиановая вода вместе с другими летучими компонентами. Состав летучих компонентов различен. Энергия этих газов в закрытых порах и каналах настолько высока, что они эксплозивно вырываются из стекла. В начальную стадию прогрева (800°) появляются мелкие поры и каналы, которые затем, соединяясь, увеличиваются в объеме и вбирают в себя указанные газы. Газы в вулканических стеклах могут быть первичными (ювенильными) и приобретенными (метаморфическими) при изменении вмещающих пород в условиях высокой температуры и давления.

Летучие компоненты, в процессе вулканических извержений, изучены Сен-Клер-Девилем (Sainte-Claire-Deville, 1958) на примере вулкана Везувий, Стейнером (Steiner, 1953) горячих эксгаляций Вайракей в Новой Зеландии, Ф. В. Бартом (Barth, 1950) вулканического района Исландии, Е. С. Шефердом (Shepherd, 1938) стекол Соединенных Штатов, М. А. Кашкаем (1939, 1955) на примере гидротермальных и минеральных вод Малого Кавказа, Л. А. Башариной (1961) и С. И. Набоко (1959) — вулканов Камчатки и Курильских островов.



Фиг. 2. Характер выделения воды из обсидиана (а) и перлита (б)



Фиг. 3. Зависимость вспучиваемости перлитов от температуры и содержания минеральных включений

1—Кечалдаг; 2—Нурнус-Гутанасар; 3—Мухор-Тала; 4—Приморское; 5, 6—Джрабер-Фонганское; 7—Мухор-Тала; 8—Рокосово; 9—Богопольское; 10—Сей-Тай, Архарлы; 11—Казахстанское

Вулканические газы подразделяются на следующие группы: 1) серы — S, H<sub>2</sub>S, SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, COS<sup>-1</sup>; 2) водорода и галлоидов — H<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, HCl, HF, NH<sub>3</sub>, Cl<sub>2</sub>; 3) углерода — CO<sub>2</sub>, CO, CH<sub>4</sub>; 4) благородных газов — He, Ne, Ar, Kr, Xe; 5) прочих газов — O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, As, Sb.

По данным Росса и Смита (Ross, Smith, 1955), М. А. Кашка и А. И. Мамедова (1961), В. В. Наседкина (1963) и других, в перлитах и обсидианах установлены следующие летучие компоненты (в объемн. %): SO<sub>2</sub>+SO<sub>3</sub> 0,09—0,16; O<sub>2</sub>—0,367; CO<sub>2</sub> 0,0—1,402; CO 0,032—0,705; Cl<sub>2</sub> 0,07—2,965; F 0,516—4,329; N<sub>2</sub> 18—100; H<sub>2</sub> 0,080—2,253 и 31,1—60,0; H<sub>2</sub>O 88,4—98,5; He+Ne 0—0,1485; Ar 0—0,002.

Летучие компоненты в вулканических стеках могут находиться в следующем состоянии: в микропорах, в порах молекулярного размера, в виде раствора. Перлитовая вода подобно цеолитовой легко удаляется при непрерывном нагревании до 400° С; процесс обратим. Эти замечательные свойства позволяют ставить вопрос о возможности получения окрашенных вулканических стекол и их дальнейшем широком применении.

### ВЫВОДЫ

1. Древние (палеозойские и мезозойские) вулканические стекла отличаются от более молодых степенью раскристаллизованности и содержанием летучих компонентов, главным образом воды. Выяснение этих особенностей имеет как научное, так и практическое значение.

2. Температура и степень вспучиваемости перлита зависят от содержания в нем (в %) кристаллических и других примесей.

3. Авторами установлены в вулканических стеклах четыре типа воды: обсидиановый — до 0,5%, реже до 1%, обсидиан-перлитовый — от 1 до 2%, перлитовый от 2 до 6% и пехштейновый — от 6 до 8% и больше.

4. Вспучивание типичных перлитов и обсидианов протекает при обжиге в интервале температур 800—1000° С. Оно связано с выделением обсидиановой воды (0,1—0,5%).

5. Выявлено, что в природных условиях перлит может образоваться при гидратации обсидиана, что следует учесть при поисках и разведке сырья.

Институт геологии АН АзССР

В. В. НАСЕДКИН, Т. А. ЗИБОРОВА, О. Н. КОРОТКОВА,  
Е. А. САНИНА, Ю. С. ГЕНШАФТ

### ИССЛЕДОВАНИЕ СТРОЕНИЯ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТЕКЛОБРАЗНЫХ ПОРОД

Благодаря применению для изучения технических стекол современных физических методов в последние годы были получены весьма интересные данные об особенностях их строения. Природные стекла и стеклообразные горные породы исследованы значительно слабее. Данная статья содержит результаты изучения стекол различными методами: рентгеновским, электронномикроскопическим, ультразвуковым и другими. Авторы надеются, что их работа в какой-то мере восполнит пробел, существующий в этой области.

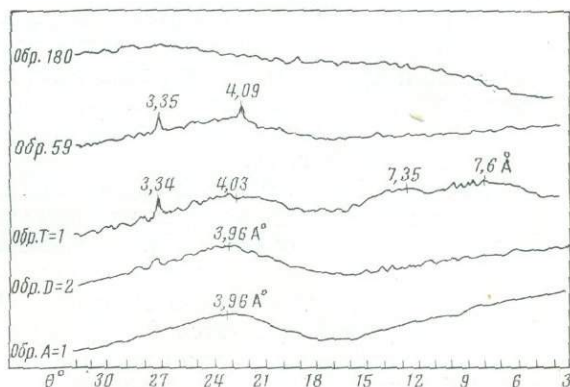
## РЕНТГЕНОВСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для рентгеновского изучения были взяты пять образцов. Из них три представлены природным вулканическим стеклом (А-1; Д-2,59) и два искусственным (Т-1,180).

Образец А-1 (гора Артени, Армения). Вулканическое стекло залегает в основании потока, отвечающему от кратерной зоны четвертичного потухшего вулкана Артени. Мощность потока в районе взятия образца составляет примерно 35 м. Нижние 4—5 м сложены черным обсидианом. Образец взят из обсидиановой зоны на уровне 1,5 м от видимого основания потока. В тонких сколах обсидиан обнаруживает отчетливое полосчатое строение. Полосы представлены системой тончайших

Фиг. 1. Дифрактограммы стекол. Сняты на УРС 50И, Си-излучение

Обр. А-1 — обсидиан из верхней части потока. Вулкан Артени, Арм. ССР; обр. Д-2 — то же, из верхней зоны экструзива. Окраина с. Джрабер, Арм. ССР; обр. Т-1 — искусственное стекло липаритового состава; обр. 59 — обсидианоподобное стекло, из нижней части потока Артени, Арм. ССР; обр. 180 — искусственное стекло базальтового состава. Синтезировано при  $p=20$  кб и  $T=1150^\circ$  С



трещин и плоскостей, образующих сложный узор. По трещинам наблюдаются дендритовидные выделения рудного минерала и отдельные редкие кристаллы тридимит-кристобалитового типа.

Пространство между полосами представлено прозрачным однородным стеклом. Стекло имеет липаритовый состав;  $N=1,488 \pm 0,001$ . Для рентгеновского исследования был взят участок однородного прозрачного стекла без кристаллических включений. Рентгеновский спектр представлен на фиг. 1. На спектре отчетливо виден один размытый эффект в интервале  $17-28 \theta$  с максимумом  $3,9576 \text{ \AA}$ .

Образец Д-2. Обсидиан взят из карьера у южной окраины с. Джрабер. Стекло образует апикальную часть экструзивного купола. Макроскопически это серое стекло с серебристым оттенком на сколах, параллельных полосчатости породы. Порода обладает пористой ориентированной текстурой. Поры, группируясь, образуют ритмичные полосы. Рентгеновски исследовался препарат отобранного под биноклем однородного стекла;  $N=1,484 \pm 0,002$ . Рентгенограмма стекла аналогична рентгенограмме предыдущего образца.

Образец Т-1. Стекло приготовлено искусственно путем переплавления перлита месторождения Ташкескен. Плавка производилась в печи на керосиновом топливе при температуре  $1500^\circ$ <sup>1</sup>. После выдержки в течение 5 час расплав подвергался закалке до температуры  $600^\circ$  и затем медленно охлаждался.

Искусственное стекло светло-серое, в тонких сколах прозрачное. Кристаллические включения отсутствуют.  $N=1,484 \pm 0,003$ . Оно обладает пузыристой текстурой. Образование пузыристости связано с выделением в процессе переплавления воды, присутствующей в исходном образце. В отличие от двух предыдущих образцов рентгеновский спектр Т-1 содер-

<sup>1</sup> Образец приготовлен в Институте стекла.

жит четыре отчетливых максимума с экстремальными точками у 3,34; 4,0286; 7,3540 и 7,6 Å.

Образец 59. Вулканическое стекло взято среди пород вулканического комплекса Артени (Армения). Обнажение детально уже было описано ранее (Наседкин, Зиборова 1968). Оно представляет нижнюю часть потока. Обсидиан залегает в виде лент, линзовидных и неправильных по форме обособлений среди тонкополосчатых липаритов. Изучалось стекло из реликтового обособления между сферолитовыми агрегатами липарита. Стекло темно-серое;  $N=1,498\pm 0,001$ . Стеклообразное вещество содержит рудный минерал в виде тонкораспыленных хлопьевидных агрегатов. Рентгеновский спектр весьма близок спектрам образцов Д-1 и А-1. На нем отчетливо видны максимумы 3,3538 и 4,0911 Å (см. фиг. 1).

Образец 180. Синтез стекла осуществлялся в аппаратуре поршневого типа. Детально методика эксперимента описана ранее (Геншафт, Наседкин и др., 1965). Условия синтеза:  $p=20$  кб,  $T=1150^\circ$ , время 9 мин. Состав стекла базальтовый. Стекло, полученное при данных параметрах, однородно, включения отсутствуют;  $N=1,589\pm 0,002$ . Стекло рентгеноаморфное (см. фиг. 1).

Краткие выводы. В зависимости от вариаций состава все изученные разновидности делятся на две группы: кислые стекла (обр. А=1; Д-2; Т-1; 59) и основные (обр. 180). Образцы первой группы, исключая стекло Т-1, по-видимому, образовывались в близких условиях. Предполагаемые давления не превышали 50—100 ат, температура 700—900°. Стекло Т-1 характеризуется более высокими температурными условиями образования (длительная выдержка при температуре 1500° и последующая закалка). Судя по геологическим условиям (внутренняя часть потока), охлаждение стекла обр. 59 происходило наиболее медленно. По-видимому, стеклообразное вещество этого типа должно было приобрести наиболее упорядоченную структуру. Рентгеновские спектры образцов А-1 и Д-2 идентичны. Они характеризуются размытым максимумом в интервале от 20 до 23 θ. На этом основании можно предположить наличие в стекле структурных мотивов, близких к минералам тридимит-кристобалитового ряда. Рентгенограмма обр. 59 свидетельствует о его упорядоченности. Отчетливы пики 3,3538 и 4,0911. Первый из них характерен для структуры кварца, второй — неупорядоченного тридимита (Наседкин, Зиборова, 1968). Рентгеновская характеристика Т-1 несколько отлична. Весьма отчетливы пологие пики 7,6 и 7,3540, а также 4,0286 Å. Первые можно отнести за счет появления в стекле кристаллических зародышей амфибола, второй — кристобалита. Пик 3,34 Å свидетельствует о возможном присутствии структурных мотивов кварца.

Образец 180 по рентгеновским свойствам резко отличается от предыдущих. Рентгенограмма в интервале от 2 до 50 θ не содержит сколько-нибудь заметных максимумов. Стекло рентгеноаморфно. Отсутствие отражений в интервале 17—25 θ (область отражений тридимита и кристобалита) закономерно, так как эти минералы при высоких давлениях не стабильны. Расплав в условиях эксперимента имел характер весьма неупорядоченной жидкости.

## ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ

Ранее проведенные исследования показали, что тонкая структура вулканического стекла неоднородна. В ней выделяются структурные области различных порядков размером до 2—3 мк (Наседкин, 1963). Специфическая особенность методики названных исследований заключалась в том, что перед напылением образец подвергался травлению плавико-

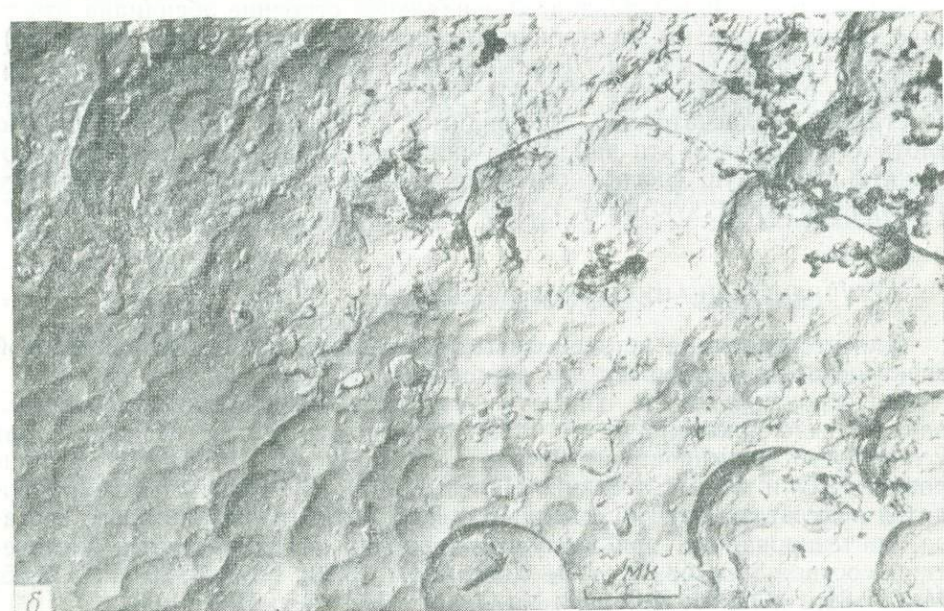


Таблица. Электронномикроскопические снимки вулканического стекла. Увел. 11 000  
 а — полосчатый перлит (обр. 310). Мухор-Тала, Забайкалье; видно полосчатое строение агрегатов со сферической отдельностью; б — флюидальный обсидиан (обр. 16); Кечалдаг, Азерб. ССР.  
 Аналитик Л. А. Горохова, ИГЕМ АН СССР

вой кислотой. В процессе травления первичная структура стекла могла быть нарушена. Ниже мы приводим дополнительные данные изучения тонкой структуры стекла под электронным микроскопом. В отличие от предыдущих работ в данном случае поверхность образца не подвергалась предварительному травлению. Исследование производилось на электронном микроскопе отечественной конструкции. Образец представ-

лел собой одноступенчатую самооттененную угольную реплику. Для изучения были взяты две разновидности стекла: обсидиан Кельбаджарского месторождения, Закавказье (обр. 16) и полосчатый перлит Мухор-Талы, Забайкалье (образец 340).

**Перлит Мухор-Талы.** При микроскопическом изучении в шлифе отчетливо видно полосчатое строение породы. Полосы полукристаллического материала и гомогенного стекла чередуются. Первые состоят из агрегата кали-натрового полевого шпата и тридимита, погруженных в стекловатую массу. Толщина полос 0,05—0,6 мм. Для электронномикроскопического исследования взят образец гомогенного стекла из пространства между кристаллическими агрегатами. Стекло обнаруживает неоднородность тонкой структуры. Неоднородность проявляется в чередовании полос мелко- и крупноагрегатного строения. Отдельные индивиды агрегата обнаруживают сферическую отдельность (табл., а). Переход между сфероидами различных порядков нерезкий. Агрегаты, по-видимому, распределены линейно и обнаруживают отчетливое полосчатое расположение. Наличие на снимках полусфер больших и малых радиусов наводит на мысль о различной плотности сфероидов сравниваемых участков образца.

**Обсидиан Кельбаджарского месторождения (обр. 16).** Стекло светло-серое. Прозрачно в тонком сколе. Химический состав стекла:  $\text{SiO}_2$  73,63;  $\text{TiO}_2$  0,05;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  13,19;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  0,70;  $\text{FeO}$  не опр.;  $\text{CaO}$  1,05;  $\text{MgO}$  0,73;  $\text{K}_2\text{O}$  5,07;  $\text{Na}_2\text{O}$  4,13;  $\text{H}_2\text{O}^+$  1,62;  $\text{H}_2\text{O}^-$  0,00. Текстура стекла флюидальная. Флюидальное строение обсидиана отчетливо видно также на электронно-микроскопическом снимке (табл., б).

**К р а т к и е в ы в о д ы.** Данные электронной микроскопии свидетельствуют о неоднородности тонкой структуры стекла. Стекло обладает отчетливой полосчатостью. По-видимому, полосы имеют различную плотность. Перенес эти данные на силикатный расплав, можно предположить различную способность вещества разной плотности поглощать и удерживать летучую фазу.

## ЛЕТУЧИЕ В ВУЛКАНИЧЕСКОМ СТЕКЛЕ

Для исследования летучей фазы применялись методы инфракрасной спектроскопии и термического анализа.

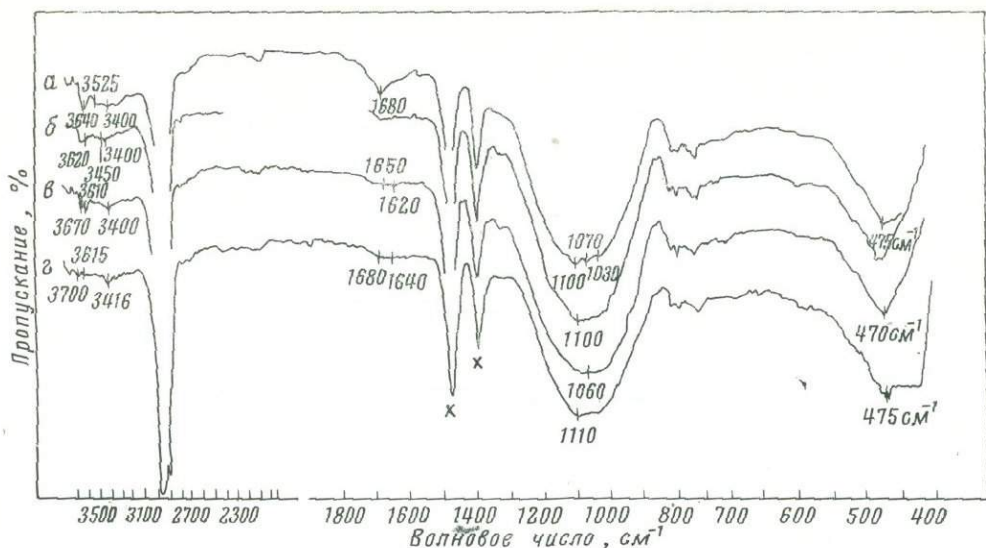
**Инфракрасная спектроскопия.** В предыдущих исследованиях было показано, что в стеклообразном веществе независимо от условий его формирования обычно присутствует два типа ОН группировок:  $\text{H}_2\text{O}$  и ОН (Наседкин, Панеш, 1967). В данной статье приводятся результаты изучения водных стекол андезито-базальтового состава, синтезированных при высоких давлениях и температурах. Химический состав:  $\text{SiO}_2$  58,09;  $\text{TiO}_2$  0,60;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  13,99;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  5,25;  $\text{FeO}$  3,85;  $\text{MgO}$  2,84;  $\text{CaO}$  6,56;  $\text{K}_2\text{O}$  2,82;  $\text{Na}_2\text{O}$  4,57;  $\text{H}_2\text{O}^+$  нет;  $\text{H}_2\text{O}^-$  1,08.

Методика полученных при высоких давлениях водосодержащих стекол описана в предыдущих публикациях (Геншафт, Наседкин и др., 1965).

Для исследования были взяты четыре образца. Условия синтеза и некоторые физические свойства стекол представлены в табл. 1.

По мере возрастания давления содержание воды в стекле возрастает. Образцы сняты на приборе UR-10 с призмами  $\text{LiF}$ ,  $\text{NaCl}$  и  $\text{KBr}^1$ . Препарат приготовлен методом вазелиновой пасты. При идентификации ОН-групп мы основывались главным образом на деформационных колебаниях (диапазон 1600—1700  $\text{cm}^{-1}$  для  $\text{H}_2\text{O}$ , 1400—1500  $\text{cm}^{-1}$  для гидроксила) <sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Съемка производилась В. И. Панеш.



Фиг. 2. Инфракрасные спектры андезито-базальтовых стекол, синтезированных при различных давлениях и температурах. Уменьшением давления интенсивность полос поглощения молекулярной воды и гидроксила уменьшается

*a* —  $p=25$  кбар,  $T=1300^\circ$ ; *b* —  $p=15$  кбар,  $T=1300^\circ$ ; *v* —  $p=5$  кбар,  $T=1300^\circ$ ; *z* —  $p=1$  ат,  $T=1300^\circ$

Область деформационных колебаний гидроксила перекрыта полосами поглощения вазелинового масла. В стекле отчетливо устанавливаются два типа молекулярной воды (деформационные колебания:  $1640$  и  $1680$   $\text{см}^{-1}$ ). С повышением давления резко возрастает роль воды с максимумом у  $1680$   $\text{см}^{-1}$  (фиг. 2). В природных кислых стеклах (перлитах) обычно преобладают молекулы  $\text{H}_2\text{O}$ , дающие полосу с максимумом  $1620$   $\text{см}^{-1}$  (Наседкин, Панеш, 1967). Области валентных колебаний  $\text{OH}$

Таблица 1

Условия синтеза и физические свойства андезито-базальтовых стекол при  $T = 1300^\circ\text{C}$

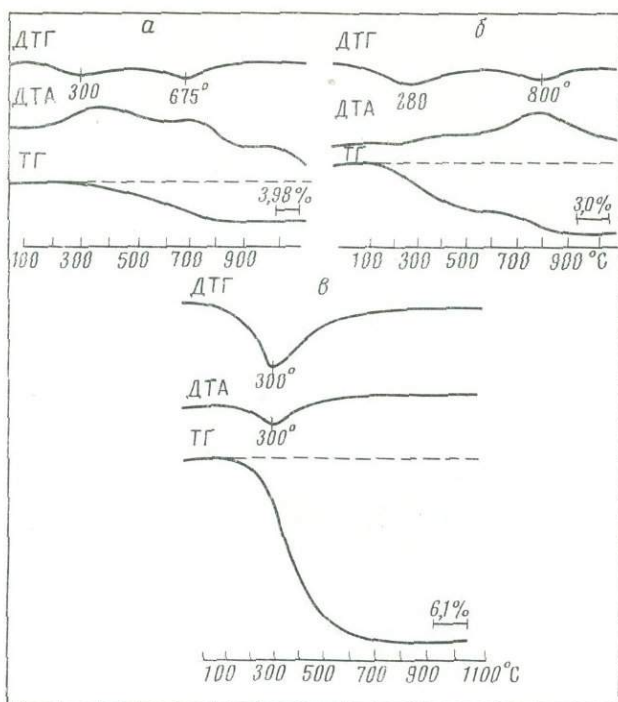
Номер образца	$p$ , кбар	Удельный вес, $\text{г}/\text{см}^3$	$N (+ 0,001)$	Содержание воды, вес. %
165 А	0,001	Не опр.	Не опр.	Не опр.
165 Б	5	2,57	1,551	1,5
165 В	15	2,625	1,565	2,6
165 Г	25	2,645	1,579	4,0

в группах  $\text{H}_2\text{O}$ , по-видимому, соответствуют полосы  $3500\text{--}3600$   $\text{см}^{-1}$ . Увеличение интенсивности полосы  $3640$   $\text{см}^{-1}$  при возрастании давления от  $15$  до  $25$  кбар можно объяснить увеличением в расплаве роли гидроксилсодержащих комплексов.

### Термический анализ

Для исследования были взяты три образца: два из них стекло, синтезированное при высоких давлениях и температурах (образцы 224 и 188), а один — природный перлит из месторождения Мухор-Тала.

Образец 224. Стекло получено в результате закалки липаритового расплава, выдержанного в камере высокого давления в течение 2 час при температуре  $1300^\circ$  и давлении  $25$  кбар. Методика та же, что



Фиг. 3. Кривые нагревания стекол

*а* — липаритового, синтезировано при  $P=25$  кбар и  $T=1300^\circ\text{C}$ ; *б* — ультраосновного  $P=10$  кбар и  $T=1700^\circ\text{C}$ ; *в* — перлит Мухор-Тала

и в предыдущих случаях. После закалки образец представлял однородный столбик стекла, окрашенного в желтоватый цвет. Светопреомление слабо варьирует:  $1,506 \pm 0,001$  в краевой и  $1,504 \pm 0,001$  в центральной частях образца. На этом основании можно сделать вывод об обогащении водой периферической зоны образца по сравнению с центральной. Термические кривые, снятые на дериватографе, даны на фиг. 3. Нагревание образца до  $1000^\circ$  осуществлялось в течение 50 мин. Величина навески 60,4 мг, потеря веса 2,4 мг, т. е. 3,98%. На дифференциальной кривой потери веса (ДТГ) отчетливо видно, что выделение воды происходит в две стадии. Низкотемпературный интервал выделения воды соответствует  $100-400^\circ$ , высокотемпературный  $500-800^\circ$ . Максимумы соответственно равны  $300$  и  $675^\circ$ . О характере реакций можно судить по дифференциальной кривой (ДТА). В пределах названных температурных интервалов наблюдается два экзотермических эффекта: низкотемпературный с максимумом в  $350^\circ$  и высокотемпературный —  $710^\circ$ . Первый более интенсивен.

Образец 188. Стекло имеет ультраосновной состав:  $\text{SiO}_2$  39,30;  $\text{TiO}_2$  1,82;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  3,70;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  5,20;  $\text{FeO}$  6,90;  $\text{MnO}$  0,09;  $\text{MgO}$  37,80;  $\text{CaO}$  4,90;  $\text{Na}_2\text{O}$  0,18;  $\text{K}_2\text{O}$  0,11. Образец находился при температуре  $1700^\circ$  и давлении 10 кбар в течение 10 мин в камере высокого давления. Затем производилась закалка и давление было снижено до атмосферного. Цвет стекла темно-коричневый. Светопреомление  $1,638 \pm 0,001$ . Так же как и в предыдущем случае, на дифференциальной кривой потери веса наблюдаются два широких термических эффекта, которые свидетельствуют о неравномерном характере выделения воды. Первый эффект охватывает температурный интервал  $50-600^\circ$  (максимум у  $300^\circ$ ) и второй  $650-950^\circ$  (максимум у  $750^\circ$ ). На кривой ДТА также выделяются два экзотермиче-



Таблица 2

Волновые числа полос поглощения ОН-групп в андезито-базальтовом стекле

Номер образца	Деформационные колебания, см <sup>-1</sup>		Валентные колебания, см <sup>-1</sup>		
195 А . . . . .	1640	1680	3416	3615	
195 Б . . . . .	1620	1650	3400	3610	3670
195 В . . . . .	1615	1680	3460	3620	3670
195 Г . . . . .	1615	1680	3400	3529	3640

ских максимума (первый 350 и второй — 780°). Оба максимума синхронны таковым на дифференциальной кривой потери веса. О ступенчатом характере выделения воды можно судить также по термовесовой кривой.

Перлит из Мухор-Талы. Перлит представлен макроскопически бурым стеклом, которое в шлифе прозрачно. Кристаллические включения отсутствуют;  $N = 1,506 \pm 0,001$ . Содержание воды, присутствующей в стекле, составляет 6,43%. В отличие от предыдущих образцов выделение воды происходит в температурном интервале 50—500° с максимумом 300°. Максимуму на кривой ДТГ соответствует эндотермический эффект на кривой ДТА.

Краткие выводы. В стеклах, синтезированных при высоких давлениях, присутствует два типа воды, выделяющейся соответственно в два приема. Характерно, что в отличие от перлита Мухор-Талы выделение воды в этом случае сопровождается экзотермическими реакциями. Это, по всей вероятности, свидетельствует о структурных изменениях в стекле при нагревании, а также, возможно, и о перегруппировке алюмокремнекислородных тетраэдров или кристаллизации рудной фазы. В природном перлите вода слабо связана со структурой стекла и ее выделение происходит без разрыва кремнекислородных связей. Этот процесс сопровождается эндотермической реакцией.

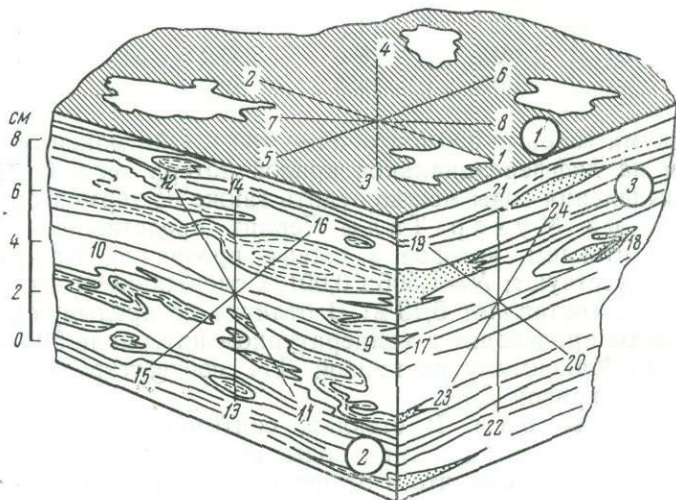
## ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА

### Упругие свойства

Для изучения упругих свойств был использован импульсный ультразвуковой прибор (ИКЛ-5) с датчиками сегнетовой соли поршневого типа с основной частотой 140 кГц. Была применена методика продольного профилирования: датчик-излучатель был неподвижен, приемник передвигался по профилю с шагом 0,5 см. Время пробега волны фиксировалось на электроннолучевой трубке. По полученным сейсмограммам рассчитывались скорости распространения продольных ( $V_p$ ) и поверхностных ( $V_R$ ) волн. Зная соотношение между поверхностной и продольной скоростями ( $V_R/V_p$ ), по номограмме Кюпова находился коэффициент Пуассона ( $\sigma$ ) и по известным формулам теории упругости рассчитывались упругие параметры: модуль упругости ( $E$ ) и модуль сдвига ( $L$ ). Для удобства была установлена единая методика обозначения плоскостей наблюдения: 1 — срез, расположенный параллельно, а 2 и 3 — перпендикулярно полосчатости, причем во всех случаях профиль 1—2 параллелен 9—10 и профиль 5—6 параллелен 17—18 на перпендикулярных срезах (фиг. 4). Для исследования были взяты три разновидности вулканического стекла: полосчатый черный обсидиан (7209), слабо полосчатый обсидиан (7211) и перлит (7207). Ниже дается краткая характеристика изученных пород.

Полосчатый черный обсидиан (7209). Образец взят из нижней части потока на южном склоне горы Гядис. Видимая мощность

потока 15—20 м. Нижняя и верхняя ее части состоят из обсидиана, центральная — из липарита. Петрографически изученный обсидиан представляет стекловатную полосчатую породу. Для нее характерно чередование полос различной степени кристалличности. Светлые полосы (см. фиг. 4) сложены стеклом, содержащим призматические микролиты амфибола, темные — агрегатом ориентированных микролитов кали-



Фиг. 4. Штуф полосчатого обсидиана (обр. 7209)

Цифры в кружках — плоскости распила, 1—24 — профили зондирования.  
Пунктир — ориентировка микролитов

натрового полевого шпата и амфибола, причем первый резко преобладает. Толщина полос варьирует от 1 до 20 мм. Суммарное количество стекла в породе составляет 60—70%.

Обсидиан слабо полосчатый (7211). Характер полосчатости по сравнению с черным обсидианом несколько иной. Он также содержит микролиты (4—6%), представленные амфиболом и плагиоклазом. Эти микролиты не ориентированы или весьма слабо ориентированы в пространстве. Четко выраженные полосы встречаются редко (2—3 полосы в пределах 1 см). Толщина полосы не превышает десятых и сотых долей миллиметра. Наличие полос обусловлено скоплением изолированных кристалликов рудного минерала.

Полосчатый перлит (7207 — ф-3). Блок взят из верхней части потока, имеющего следующее строение: нижние 10—22 м видимой части разреза представлены обсидианом, в центральной преобладают криптокристаллические и полустекловатые липариты мощностью 3—4 м и в верхней — перлиты. Перлит — светло-серая полосчатая порода; большая часть ее объема (90—95%) сложена перлитовым стеклом, содержащим до 3,5—5% воды и 5—6% обсидианом, представленном в виде реликтов в перлите. В стекле также присутствуют вкрапленники калинатрового полевого шпата и слюды. Полосчатость вызвана линейной ориентировкой пор.

Данные определений скоростей распространения упругих волн и упругие параметры для испытанных образцов сведены в табл. 3.

Из таблицы видно, что для образцов обсидиана и перлита в плоскости полосчатости характерны близкие значения скоростей распространения упругих волн. Разница не выходит за пределы точности определения ( $\pm 1-2\%$ ). На поперечных разрезах наблюдается иная картина. Так, для образца 7209 в плоскости 2 значение скорости продольной волны  $V_p$  в направлении, перпендикулярном полосчатости, составляет

Таблица 3

## Упругие свойства вулканических стекол

Номер образца	Породы	Ориентировка среза	Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	Номер профиля	$V_p$ , м/сек	$V_s$ , м/сек	$\sigma$	$E \cdot 10^8$ , кг/см <sup>2</sup>	$G \cdot 10^8$ , кг/см <sup>2</sup>
7209	Полосчатый обсидиан	Параллельно полосчатости 1	2,37	1—2	5920	3700	0,18	7,72	3,30
				3—4	5810	3540	0,20	7,29	3,03
				4—6	6030	3520	0,24	7,46	3,00
				7—8	6100	3660	0,22	7,90	3,24
		Перпендикулярно полосчатости 2		9—10	5700	3320	0,24	6,63	2,66
				11—12	5180	3360	0,14	6,15	2,72
				13—14	5980	3140	0,30	6,28	2,38
				15—16	5630	3280	0,24	6,54	2,60
		То же (3)		17—18	5880	3570	0,20	7,45	3,08
				19—20	5830	3420	0,24	6,94	2,82
				21—22	5340	3650	0,06	6,79	3,22
				23—24	5320	3340	0,18	6,33	2,70
7211	Обсидиан	Параллельно полосчатости (1)	235	1—2	5900	3700	0,18	7,72	3,30
				3—4	5850	3280	0,27	6,58	2,58
				5—6	5860	3440	0,24	7,06	2,84
				7—8	6160	3400	0,28	7,12	2,78
		Перпендикулярно полосчатости (2)		9—10	5790	3800	0,12	7,75	3,47
				11—12	5970	3570	0,18	7,84	3,06
				13—14	5930	3560	0,22	7,40	3,04
				15—16	5850	3800	0,14	7,82	3,48
		То же (3)		17—18	6260	3810	0,20	8,40	3,48
				19—20	5620	3700	0,12	7,33	3,30
				21—22	5920	3680	0,18	7,73	3,26
				23—24	5630	3540	0,17	7,07	3,02
7207	Полосчатый перлит	Параллельно полосчатости (1)	227	1—2	4850	2570	0,30	4,05	1,53
				5—6	4860	2650	0,28	4,21	1,63
		Перпендикулярно складчатости (2)		9—10	5200	3240	0,18	5,71	2,43
				13—14	4200	2700	0,14	3,84	1,69
		То же (3)		17—18	5020	3020	0,22	5,10	2,10
				21—22	3720	2500	0,09	3,14	1,45

5980 м/сек, а параллельном — 5700 м/сек; для плоскости 3 наблюдается обратная картина: перпендикулярно полосчатости  $V_p = 5340$  м/сек, а параллельно полосчатости — 5880 м/сек.

Для образца 7211 наблюдается аналогичная картина, и в плоскости 2 скорость распространения продольных волн, ориентированных по падению полосчатости, 5760 м/сек, а перпендикулярно этому направлению (перпендикулярно полосчатости) 5930 м/сек. Для плоскости 3: в направлении вдоль полосчатости 6260 м/сек, а перпендикулярно 5920 м/сек.

Перлит характеризуется низкими скоростями распространения упругих волн. По-видимому, гидратация стекла вызывает образование тончайших трещин, которые и влияют на упругие свойства породы.

Краткие выводы. Обсидианы обладают отчетливой анизотропией упругих свойств пород в зависимости от текстурных особенностей и ориентировки образца в магматическом теле. Подобная анизотропия наблюдается в тех образцах, где полосчатость выражена слабо и содержание кристаллических включений не более 6%. Характерно, что по падению (предполагаемое направление течения потока) скорости распространения упругих волн ниже, чем в копланарном перпендикулярном направлении.

### Пористость и проницаемость

Для исследования пористости и проницаемости естественного неизмененного стекла были взяты обсидианы из трех наиболее известных месторождений Армении: Артени, Джрабер-Фонтанского и Гядис. Методика определения объемных и удельных весов, пористости и проницаемости изложена в ранее опубликованных работах Е. А. Саниной. Результаты данной работы приведены в табл. 4. Исследованные обсидианы

Таблица 4

#### Пористость и проницаемость обсидианов

Номер образца	Порода и месторождение	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	Объемный вес, г/см <sup>3</sup>	Пористость		Заполнение пор, %	Дифференцированная пористость, %			Проницаемость, мдарси
				истинная	эффективная		размер пор		форма бутылочная	
							0,002	0,0002		
6696 А	Брекчиевидный полосчатый обсидиан, Артени	2,366	2,354	0,51	0,27	53	11	89	37	$3 \cdot 10^{-7}$
6696 Б	То же	2,366	2,350	0,68	0,26	38	46	54	19	$0,6 \cdot 10^{-7}$
6601	Темно-серый слабо полосчатый обсидиан, Артени	2,364	2,349	0,64	0,40	63	50	50	15	$1 \cdot 10^{-7}$
6597	Серебристый обсидиан, северная окраина с. Джрабер	2,361	2,343	0,43/10*	0,28	66	50	50	7	$4 \cdot 10^{-7}$
6695	То же	2,376	2,356	0,84/10*	0,24	28	20	80	21	$5 \cdot 10^{-7}$
6598	Брекчиевидный обсидиан пестрой окраски, Артени	2,364	2,356	0,34	0,24	73	33	67	29	$0,7 \cdot 10^{-7}$
6596	Полосчатый обсидиан, Гядис	2,406	2,396	0,42	0,15	36	6	94	14	$2 \cdot 10^{-7}$

\* Числитель — пористость, определенная по формуле  $(d_1 - d_2) / d_1$ , где  $d_1$  — удельный вес,  $d_2$  — объемный вес; знаменатель — пористость, установленная в шлифе.

дианы под микроскопом не обнаружили пористого строения. Оно проявляется при исследовании гидростатическим методом. Исключением являются серебристые обсидианы (6597 и 6695); при микроскопическом исследовании они обнаруживают отчетливую пористую текстуру. Поры в сечении имеют вытянутую веретеновидную форму. Длина пор 0,01—0,2 мм, ширина 0,02—0,05 мм и толщина 0,005—0,01 мм. Таким образом, в объеме поры имеют эллипсоидальную сильно сплюснутую по одной из осей щелевидную форму. Поры составляют  $10 \pm 3\%$  от объема породы. В массивных разновидностях обсидиана преобладают поры размером менее 0,002 мм. Пористость не превышает 1%.

Краткие выводы. Стандартные методы определения пористости

не всегда применимы для стекловатых пород. В частности, если поры чрезвычайно сплюснуты (щелевидные), пористость, определенная гидростатическим методом, при измельчении породы до  $-0,25$  мм и рассчитанная по формуле  $(d_1 - d_2)/d_1$ , оказывается заниженной (по сравнению с наблюдаемой в шлифе) при увеличении в 70—150 раз. Наличие пор подобного типа способствует увеличению проницаемости в 4—5 раз по сравнению с массивными разновидностями стекла. Следует отметить также изменение величины проницаемости в образце 7209.

Для образцов, вырезанных в плоскостях 2 и 3, получены одинаковые цифры проницаемости ( $10 \cdot 10^{-7}$  мдарси); в направлении, перпендикулярном полосчатости, проницаемость возрастает до  $6578 \cdot 10^{-6}$ . По-видимому, эти данные подчеркивают анизотропию стекла, установленную на основании определения скоростей распространения  $V_H$  и  $V_S$ .

Необходимы дальнейшие методические работы по определению истинной пористости в некоторых разновидностях обсидиана.

В результате применения электронномикроскопического и ультразвукового методов удалось установить, что стекло, присутствующее в горных породах, может обладать анизотропией тонкой структуры. Это позволяет сделать вывод о полосчатом строении расплава при формировании вулканических тел. Уменьшение скорости упругих волн в направлении течения расплава свидетельствует о существенной роли напряжений растяжения в этом направлении. Таким образом, можно предположить наличие в структуре потока ориентированных линейных зон. Стеклообразное вещество при высоких температурах ( $1300^\circ$ ) характеризуется сильной неупорядоченностью и на рентгенограмме проявляется как аморфное тело. Выдержка стеклообразного расплава при более низкой температуре приводит к упорядочению его структуры. В структуре высококремнеземистых природных стекол, очевидно, присутствуют структурные мотивы кристобалит-тридимитового типа.

Особенности вхождения воды в расплав зависят от  $p - T$  условий его существования. В отличие от стекол, образовавшихся при высоких давлениях, природные перлиты содержат главным образом низкотемпературную воду. Возрастание давления приводит к увеличению в расплаве роли прочносвязанного гидроксила.

Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии АН СССР

А. В. ЖУКОВ, С. П. КАМЕНЕЦКИЙ

## ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРЛИТА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ И СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Советский Союз располагает огромными, практически неисчерпаемыми, запасами вулканических стекол-перлитов в различных экономических районах. Способность перлитовых пород вспучиваться с многократным увеличением первоначального объема была установлена советскими учеными П. П. Будниковым и Д. П. Бобровником еще до второй мировой войны. Уже в тот период П. П. Будников отметил и практическое значение выявленного нового свойства вулканических пород для получения легких заполнителей.

Лишь в 1954 г. В. П. Петровым был поставлен вопрос о промышленном использовании перлитов в СССР. Тогда Всесоюзному научно-исследовательскому и проектному институту «Теплопроект» было поручено изучить возможность получения теплоизоляционных материалов на основе вспученного перлита отечественных месторождений.

На основании работ «Теплопроекта», Всесоюзного научно-исследовательского института строительных материалов и изделий (НИИСМИ), Всесоюзного научно-исследовательского института строительных материалов и конструкций (ВНИИСТРОМ) и других организаций было установлено, что на основе перлитов могут быть получены легкие высокопористые тела, которые с большим эффектом могут применяться в различных отраслях народного хозяйства.

Обладая высокой пористостью и сорбционной способностью при малом объемном весе и незначительном коэффициенте теплопроводности и являясь в то же время сравнительно недорогим материалом, вспученный перлит в настоящее время применяется в таких ведущих отраслях промышленности, как строительная, теплоизоляционная, химическая, пищевая, а также в других отраслях народного хозяйства.

В зависимости от структуры и физико-химических свойств разновидностей перлитовых пород существенно меняются параметры процессов вспучивания и технология получения легких пористых заполнителей. Применительно к заданным свойствам вспученного продукта отработана технология производства, которая успешно применяется для получения материалов различного назначения. В последние годы были проведены всесторонние исследования перлитов наиболее перспективных месторождений Союза, уточнены технологические режимы для различных перлитов в зависимости от их структурных особенностей. Важнейшим элементом технологического процесса является термическая обработка, в результате которой и происходит вспучивание породы.

Получают перлиты в виде вспученных гранул различных размеров с соответствующим в зависимости от назначения модулем крупности. Размеры частиц вспученного продукта могут меняться от микронов (теплоизоляционная пудра) до десятков миллиметров (щебень). Процесс вспучивания, предопределяющий важнейшие свойства будущего продукта, зависит от двух основных факторов: во-первых, пластичных свойств нагретой до состояния размягчения породы и, во-вторых, количественных и качественных особенностей газообразной фазы, которая и вызывает вспучивание. Многократное увеличение объема стекла при вспучивании возможно лишь при увеличении давления за счет образования внутри элементарного пузырька достаточного количества паров воды и газов.

В результате проведенных исследований разработана технология получения различного вида легких перлитовых продуктов: для строительных целей — более прочного щебня и песка, для тепловой изоляции — более легких заполнителей в виде песка, порошка, пудры. Свойства вспученного продукта изучены применительно к различным условиям его использования.

Высокие теплоизоляционные свойства вспученного перлита, обусловленные его структурой, обеспечивают возможность получения на его основе теплоизоляционных изделий с высокими теплотехническими показателями. Вспученный перлит является исходным сырьем для получения обширной группы теплоизоляционных изделий и легких бетонов. Их типы и некоторые свойства приведены в табл. 1.

Институтами «Теплопроект» и НИИСМИ разработаны оригинальные способы производства целого ряда теплоизоляционных перлитовых изделий. В настоящее время отечественная промышленность освоила производство обширной группы теплоизоляционных материалов. Одна-

Таблица 1

## Свойства перлитовых материалов и изделий на их основе

Вид материалов и изделий	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Коэффициент теплопроводности при 20±5°С, ккал/м·час·град	Предел прочности, кг/см <sup>2</sup>		Назначение
			при сжатии	при изгибе	
Перлитовый песок . . .	60—250	0,04—0,06	—	—	Производство бетона и теплоизоляционных изделий
» щебень . .	300—500	0,08—0,12	5—13	—	Производство бетона
» порошок . .	60—80	0,025—0,030	—	—	Изготовление изоляции в области глубокого холода
Перлитовая пудра . . .	120—150	0,001 (под вакуумом при —85°С)	—	—	То же
Перлитцементные изделия . . . . .	250—400	0,075—0,08	—	2,5—3	Изготовление изоляции для энергетического и технологического оборудования
Безобжиговые изделия на глиняной связке . . . . .	250—300	0,06—0,07	—	3,5	То же
Гипсоперлитовые изделия	250—400	0,06—0,12	10—12	—	»
Силикоперлитовые »	300—600	0,09—0,15	10—25	—	»
Карбоперлитовые »	200—400	0,09—0,12	7—28	—	»
Магнезито-перлитовые »	170—500	0,06—0,2	10—40	—	»
Изделия на связке из жидкого стекла . . . . .	150—250	0,05—0,1	4—10	—	»
Керамические перлитовые изделия . . . . .	300—500	0,07—0,1	10—12	—	»
Изделия типа «Перлиталь» . . . . .	200—250	0,05—0,06	4—6	—	»
Легковесные перлитозамотные изделия . . . . .	400—800	0,08—0,12	10—35	—	Изготовление промышленных печей
Жароупорный теплоизоляционный перлитобетон	500—800	0,10—0,18	15—60	—	Производство теплотехнических сооружений
Перлитобитумные изделия	200—350	0,06—0,09	4—7	—	Производство изоляции для кровли и холодильников
Латекс-перлит . . . . .	150—250	0,05—0,08	4—10	—	Для судостроительной промышленности

ко качество выпускаемых материалов не всегда находится на уровне современных технических требований: большей частью эти материалы применимы только в области определенных температур и не все температурные диапазоны в одинаковой степени обеспечены достаточно эффективными в техническом и экономическом отношении теплоизоляционными материалами.

Так, в области глубокого холода до последнего времени широко применяется дорогостоящий аэрогель, для производства которого требуется весьма дефицитное сырье. Применяемая весьма часто минеральная вата себя не оправдывает: она легко увлажняется, при этом ее теплоизоляционные свойства резко ухудшаются и изоляцию часто приходится менять. Ни один из применяемых ныне в области глубокого холода теплоизоляционных материалов не пригоден для повторного использования, а это снижает срок службы изоляции.

Для изоляции промышленных холодильников в основном применяют торфоизоляционные и минераловатные плиты. Первые легко возго-

раются и являются весьма влагоемкими. С течением времени они увлажняются, их теплоизоляционные свойства снижаются, а в пожарном отношении они являются опасным элементом ограждающей конструкции. Минераловатные плиты благодаря большому содержанию битума (до 60 кг на 1 м<sup>3</sup>) также не обеспечивают надлежащей пожарной безопасности. Кроме того, они уплотняются под действием собственного веса, образуя щели между отдельными слоями плит, в результате нарушается цельность изоляционного контура, что влечет за собой повышение температуры и нарушение нормального режима работы холодильника. В области температур до 500—600°С почти все применяемые ныне теплоизоляционные материалы характеризуются значительной термической усадкой, которая в отдельных случаях достигает 2% от первоначальных линейных размеров изделий. В результате в изоляционной конструкции образуются раскрытые швы, при которых потери тепла повышаются.

Для температур 600—900°С в основном применяются диатомовые обжиговые теплоизоляционные изделия с повышенным коэффициентом теплопроводности, и для обеспечения требуемых теплофизических параметров приходится резко увеличивать толщину изоляции.

При более высоких температурах практически единственным эффективным теплоизоляционным материалом является шамотный огнеупорный ультралегковес. Однако из-за сложной технологии масштабы производства этого ультралегковеса крайне ограничены, а стоимость этих изделий неимоверно высока. Поэтому нерационально применяются более плотные огнеупоры, а в результате — непроизводительные затраты топлива, что наносит большой ущерб народному хозяйству.

Вспученный перлит фактически является единственным материалом, который может быть использован для тепловой изоляции в диапазоне температур от —200 до 1250—1300°С. Этим предопределяется возможность эффективного использования перлита в производстве теплоизоляционных материалов и изделий.

В настоящее время отработана технология производства обширной группы теплоизоляционных изделий на основе вспученного перлита и различных связующих веществ — минеральных и органических — для различных категорий потребителей. Тем самым созданы необходимые предпосылки для быстрого развития производства этих изделий. В то же время ведутся дальнейшие исследования, направленные на изыскание новых видов перлитовых теплоизоляционных изделий и на совершенствование технологии их производства.

Широкое применение уже получил вспученный перлит в виде порошка и пудры для засыпки изолируемых полостей, песка — для производства теплоизоляционных изделий и бетонов, щебня — для изготовления легких бетонов.

Из числа подготовленных к промышленному внедрению перлитовых теплоизоляционных материалов пока освоено производство перлитопементных изделий для изоляции энергетического и технологического оборудования, перлито-шамотных легковесных огнеупоров — для промышленных печей и перлито-битумных изделий — для утепления кровель и изоляции промышленных холодильников. Однако следует сказать, что масштабы производства указанных изделий совершенно недостаточны. Промышленное производство других видов изделий пока не организовано. Между тем по уже разработанным технологическим схемам могут быть получены теплоизоляционные изделия высокой эффективности, в которых остро нуждаются важнейшие отрасли народного хозяйства: химическая промышленность, металлургия, нефтяная промышленность, судостроение, пищевая промышленность и другие. Особенно следует отметить высокоэффективные керамические перлитовые



изделия, которые в условиях службы в конструкциях при высоких температурах не только не подвержены усадке, но, наоборот, характеризуются линейным термическим расширением, частично компенсирующим влияние термического расширения изолируемых объектов.

Технические показатели вспученного перлита регламентированы ГОСТ 10 832-64. На перлитцементные изделия утверждены межреспубликанские технические условия МРТУ 21-4-64, а на керамические перлитовые изделия — МРТУ-21-3-64 Государственного комитета по промышленности строительных материалов при Госстрое СССР.

Выпущенные опытные партии перлитокерамических и перлитобитумных изделий получили хорошую оценку потребителей, но широкое промышленное производство этих изделий до настоящего времени не организовано.

Таблица 2

Техническая характеристика перлито-шамотных теплоизоляционных огнеупорных изделий

Марка изделия	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	Огнеупорность, град.	Дополнительная усадка при температуре 1250°С, %	Коэффициент теплопроводности при 600°С на горячей стороне изделия, ккал/м·час·град	Температура применения, град
БЛП-0,8	800	40—45	1670	До 1,0	0,3	1250
БЛП-0,7	700	30—25	1670	До 1,0	0,25	1250
БЛП-0,6	600	20—24	1670	До 1,0	0,22	1250
БЛП-0,5	500	15—18	1670	До 1,0	0,2	1200
БЛП-0,4	400	10—15	1670	До 1,0	0,18	1150

Особого внимания заслуживает развитие производства огнеупорных перлито-шамотных изделий, которое пока организовано лишь на Снигиревском заводе огнеупорных изделий. Как известно, ГОСТ 5040-58 предусматривает легковесные огнеупорные изделия с объемным весом 0,8—1,3 т/м<sup>3</sup> и ультралегковесы с объемным весом 0,4 т/м<sup>3</sup>. Последние выпускаются огнеупорной промышленностью в совершенно ничтожных количествах. Более эффективных огнеупорных теплоизоляционных материалов с объемным весом 0,5—0,7 т/м<sup>3</sup> наша промышленность вообще не выпускает, хотя потребность в них велика и применение таких изделий способствовало бы экономии топлива на различных типах промышленных печей.

Существующая в настоящее время технология легковесного огнеупорного кирпича неприменима для производства легковеса с объемным весом 0,5—0,7 т/м<sup>3</sup>, с промежуточными показателями. Больше того, огнеупорная промышленность очень мало выпускает кирпича с объемным весом 0,8 т/м<sup>3</sup>, а основная масса выпускаемой продукции имеет объемный вес 1 т/м<sup>3</sup>. Между тем введение в материал вспученного перлита по разработанной в «Теплопроекте» технологии позволяет получить широкую гамму огнеупорных перлито-шамотных легковесов с высокими показателями, которые хорошо соответствуют действующим ГОСТ 5040-58 (табл. 2).

Производство перлито-шамотных легковесов может быть организовано на действующих заводах огнеупорной промышленности при использовании существующего оборудования. Необходимое для этого резкое увеличение производительности заводов связано в основном с сокращением продолжительности цикла тепловой обработки изделий — сушки и обжига. Широкое применение найдут также высокотемпературные перлитовые изделия на фосфатной связке, технология производства которых разработана в НИИСМИ.

Для тепловой изоляции промышленных печей в теплотехнических агрегатах в СССР почти не применяются легкие бетоны. Объясняется это низким качеством выпускаемого пено- и газобетона. Между тем использование вспученного перлита в качестве порообразователя позволяет получить легкие бетоны, вполне отвечающие техническим требованиям, предъявляемым к изоляции целого ряда теплотехнических сооружений. Разработанные в «Теплопроекте» составы теплоизоляционных перлитобетонов проверены на построенных промышленных печах и дымовых трубах. Однако несмотря на хорошую оценку теплоизоляционного перлитобетона, полученную при сооружении опытных объектов, этот бетон широкого применения до сего времени не получил из-за отсутствия выпуска бетонных смесей необходимых составов. После организации такого производства теплоизоляционный перлитобетон, несомненно, займет надлежащее место при строительстве теплотехнических сооружений.

В данное время по производству вспученного перлита имеется несколько типовых проектов предприятий и установок различной мощности. Разработана также проектная документация для производства перлито-цементных, перлито-керамических и перлито-битумных изделий. Это дает возможность организовать соответствующие производства в различных районах, где ощущается потребность в этих материалах.

Баланс теплоизоляционных изделий несмотря на значительное увеличение объема их производства за последние годы остается напряженным, и для удовлетворения возрастающих потребностей народного хозяйства перспективным планом развития теплоизоляционной промышленности должно быть предусмотрено создание новых производственных предприятий. Среди них свое место должно занять производство перлитовых теплоизоляционных изделий.

Для производства перлитовых теплоизоляционных изделий может быть использован вспученный перлитовый песок с объемным весом от 60 до 120 кг/м<sup>3</sup>, получение которого возможно из перлитового сырья различных месторождений.

В настоящее время в практике строительства предприятий перлитовой промышленности наблюдается ненормальное явление: строительство установок для получения вспученного материала значительно опережает строительство цехов по изготовлению изделий. В результате такой диспропорции создаются серьезные затруднения для действующих предприятий — происходит их затоваривание вспученным материалом, который из-за большого объема быстро загромождает складские помещения, а это влечет за собой остановку производства. Необходимо обеспечить равномерный ход строительства и одновременно с установками для вспучивания перлита строить цеха по переработке вспученного материала.

Предприятия по изготовлению перлитовых теплоизоляционных изделий целесообразно создавать с расчетом на выпуск материалов и изделий различного назначения в зависимости от потребности данного экономического района: засыпных для изоляции энергетического, технологического оборудования и холодильников; бетонных и сложных смесей для огнезащитных и акустических штукатурных растворов. В данное время существуют технологические схемы, позволяющие на одном и том же основном оборудовании выпускать различные виды изделий.

На предприятиях следует также предусматривать возможность дополнительного производства вспученного продукта для иных целей — в качестве сорбента, наполнителя в пластические массы, для литейного дела, производства абразивных изделий, для нужд сельского хозяйства.

Для ускорения строительства перлитовых установок, для упрощения и удешевления их стоимости важное значение имеет предварительная подготовка сырья непосредственно на карьере. Необходимо при карье-

рах создавать дробильно-сортировочные агрегаты и поставлять потребителям сырой перлит, рассортированный на фракции. При этом будет устранена необходимость в создании при каждой установке собственного дробильно-сортировочного хозяйства; будет обеспечено более рациональное комплексное использование сырья, ибо то, что является отходом на одном производстве, оказывается ценным сырьем для другого. Такое комплексное использование сырья обеспечивает снижение его стоимости, а следовательно, и снижение стоимости перлитовых теплоизоляционных изделий.

Новое и весьма перспективное применение находит вспученный перлит в химической, пищевой, нефтеперерабатывающей и других отраслях народного хозяйства, где в последнее время внедряются новые совершенные высокоэффективные методы фильтрации. До настоящего времени сырьем для получения фильтровальных порошков служили отдельные разновидности диатомовых пород. Однако в нашей стране производство фильтровальных диатомовых порошков широкого развития не получило. Несмотря на большие залежи диатомитов, все еще мало выявлено высококачественных их разновидностей. Между тем за рубежом в последнее время получили широкое распространение фильтровальные порошки из перлита, так называемый «декалит».

Успешные исследования в области производства фильтрующих порошков из отечественного перлитового сырья — «фильтроперлита» проведены в последние годы в НИИСМИ. Процесс изготовления фильтроперлита отличается не только подбором исходного сырья определенного состава и гранулометрии, но и особенностями вспучивания для получения материала с максимально открытыми порами. Детальное исследование свойств фильтроперлита показало, что полученный продукт полностью соответствует основным требованиям, предъявляемым к фильтровальным порошкам.

В крупнопанельном жилищном строительстве до последнего времени наибольшее применение находят железобетонные трехслойные стеновые панели с внутренним теплозащитным слоем из минеральной ваты. Такие панели тяжелы, сложны при заводском изготовлении и отличаются рядом эксплуатационных недостатков.

В крупнопанельном строительстве наиболее экономичны и просты в изготовлении однослойные ограждающие конструкции из легкого конструктивно-теплоизоляционного бетона. Замена трехслойных стеновых панелей более эффективными однослойными — весьма важный шаг на пути дальнейшего прогресса в области жилищного и промышленного строительства.

В настоящее время в СССР в практике жилищного строительства однослойные панели находят все более широкое применение. Для их изготовления используются керамзит, шлаковая пемза, перлитовый щебень, аглопориты и легкие заполнители из местных естественных пород (туфы, опоки и др.).

В отдельных случаях, как, например, при использовании подмосковного и куйбышевского керамзитов с объемным весом 350—450 кг/м<sup>3</sup>, были достигнуты высокие технико-экономические показатели конструкций из легкого бетона. Объемный вес бетона марки 50 в этих случаях составил 800—900 кг/м<sup>3</sup>. В большинстве же районов страны используются заполнители (керамзит, термозит и др.) с объемным весом 600—800 кг/м<sup>3</sup>.

Песок, получаемый дроблением керамзитового, термозитового и аглопоритового щебня, характеризуется объемным весом 800—1100 кг/м<sup>3</sup>. Применение таких заполнителей приводит к тому, что объемный вес легких бетонов плотной структуры (марка 50—75) на керамзите достигает 1500—1600 кг/м<sup>3</sup>, а на термозите и аглопорите 1600—1700 кг/м<sup>3</sup>.

Толщина стеновых панелей из такого бетона даже в климатических условиях средней полосы доходит до 35—38 см, что равно толщине стен из пустотелого кирпича.

Организованное в последние годы промышленное производство вспученного перлита в виде песка с объемным весом 150—200 кг/м<sup>3</sup> и щебня с объемным весом 300—400 кг/м<sup>3</sup> создало благоприятные предпосылки для получения более тонких и легких конструкций стен и успешного их использования в строительстве.

На протяжении ряда лет различные институты ведут работы по технологии и изучению строительно-технических свойств некоторых видов легких бетонов на основе перлита, керамзита, термозита и аглопорита, исследуют технологию производства стеновых панелей из легких бетонов, участвуют в организации промышленного производства этих панелей, способствуя широкому применению их в жилищном и промышленном строительстве.

В СССР впервые в практике строительного производства разработана технология получения легкого бетона, в котором сочетаются два вида пористых заполнителей: перлитовый щебень и песок (перлитобетон), керамзитовый щебень с перлитовым песком (керамзитоперлитобетон) и термозитовый щебень с перлитовым песком (термозитоперлитобетон), и освоено изготовление из этих бетонов стеновых панелей для жилых и промышленных зданий.

На основе перлитобетона изготавливаются стеновые панели для жилых зданий с объемным весом 900—1000 кг/м<sup>3</sup> (марки 50—75) и толщиной 25—28 см. Из таких панелей построено большое число зданий в Шелехове, Чите, Братске и других городах восточных областей СССР. На Украине широко распространен керамзитоперлитобетон.

Из сказанного видно, что уже в настоящее время перлит довольно широко применим в различных отраслях промышленности, в жилищном и промышленном строительстве. Перспективы для дальнейшего развития производства материалов различного назначения из вспученного перлита весьма благоприятны, чему способствуют мощные запасы сырья — вулканического стекла, простота технологии и низкая стоимость получаемого продукта.

Научно-исследовательский институт  
строительных материалов и изделий (г. Киев)

Всесоюзный научно-исследовательский  
и проектный институт «Теплопроект»

■

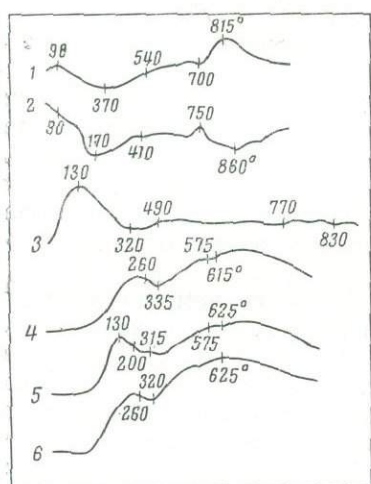
А. И. ПОЛИНКОВСКАЯ, О. А. ЧЕРНОВА

### **ФИЗИЧЕСКИЕ, ХИМИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РСФСР И МЕТОДИКА ИХ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Проведенные во ВНИИСТРОМ физико-химические и технологические исследования перлитов (в основном месторождений РСФСР) преследовали цель получения из них не только вспученного песка для теплоизоляции, но и заполнителя легких бетонов в виде щебня и песка. Результаты исследований и экспериментальных работ показали,

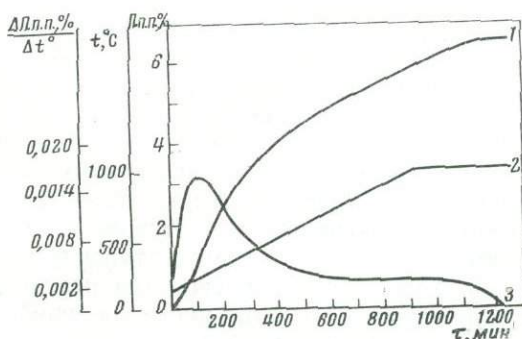
что перлиты месторождений РСФСР во многом отличаются от хорошо изученных вулканических водосодержащих стекол Закавказья и Закарпатья. Это определяется рядом их физических и химических свойств, содержанием летучих, структурой, вязкостью. По своему химическому составу вулканические стекла РСФСР близки к стеклам других месторождений СССР, а также ряда известных зарубежных месторождений. Заметное различие наблюдается только в величине потерь при прокаливании, которая определяется в основном содержанием воды и в меньшей степени — газов.

Вода, содержащаяся в перлитах, как установлено многочисленными исследованиями, является не только агентом вспучивания стекла, но одновременно и компонентом, понижающим его вязкость при температурах вспучивания. Как показали совместные работы Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР и



Фиг. 1. Кривые нагревания перлитов

1—3 — черная, светло- и темно-зеленые разновидности, Богопольское месторождение; 4—6 — светло-зеленая, коричневая и темно-зеленая разновидности, Мухор-Тала



Фиг. 2. Зависимость величины потерь в весе (1), температуры (2) и скорости выделения воды (3) от продолжительности дегидратации мухор-талинского перлита в динамических условиях на термогравиметрической установке А. В. Шлыкова

Всесоюзного научно-исследовательского института строительных материалов, содержание воды в стекле в значительной мере зависит от возраста пород. Наиболее изученные месторождения РСФСР — Мухор-Талинское, Закультинское, Богопольское — сформировались в мезозойский период. В этих перлитах практически отсутствуют газы, имеющиеся в довольно значительных количествах в армянских и закарпатских перлитах, а содержание воды примерно на 2—3% выше, нежели в последних.

Характер воды в перлитовой породе, как показали термографический и инфракрасный спектроскопический анализы, а также данные по дегидратации и регидратации породы, различен. Большая часть воды выделяется при температуре до 300—400°С, остальная — при более высокой (фиг. 1). Вода присутствует в перлитах в молекулярной форме и в виде ионов  $\text{OH}^-$ .

Причем спектрограммы показали наличие водородных связей и незначительное содержание гидроксидов. При медленном нагреве постепенно удаляется вода и той и другой формы, остается весьма незначительная часть воды, которая сохраняется до температуры вспучивания (фиг. 2).

Существуют различные точки зрения о характере связи воды с перлитовым стеклом и о влиянии ее на процесс вспучивания. Одно из этих мнений заключается в том, что основное влияние на способность вулканических стекол вспучиваться оказывает высокотемпературная, по видимому первичная, вода типа обсидиановой; имеется также точка зрения, что на вспучивание влияют виды воды, связанные со стеклом энергетическими связями. Н. С. Мануйлова (Мануйлова и др., 1962) высказала предположение, что вода в породе располагается в полостях и каналах алюмосиликатного каркаса стекла, обладающего большой внутренней поверхностью.

По данным этих авторов, обезвоживание перлита может привести к потере способности вспучиваться. В результате регидратации обезвоженного стекла при температурах 200—300°С и давлении до 88 атм его способность к вспучиванию восстанавливается.

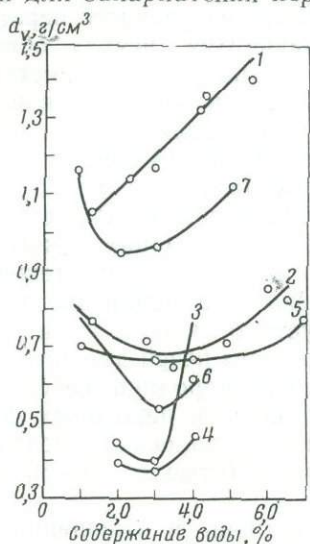
Физико-химические и технологические исследования показали, что часть воды многоводных стекол РСФСР, удаляемая до 400°С, избыточная; в ее присутствии процесс газовыделения при температуре вспучивания идет настолько интенсивно, что происходит растрескивание материала. В результате этого вспучивание осуществляется лишь в слабой степени. Это четко показано киносъемкой, выполненной И. Н. Явицем. Процесс вспучивания состоит из трех стадий: прогрева, пемзообразования и частичного разрушения. Степень последнего в значительной мере зависит от количества воды. ◊

Вязкость перлитов месторождений РСФСР более чем на порядок выше вязкости закарпатских и армянских перлитов. Как показали технологические исследования, температура вспучивания многоводных перлитов (месторождения Мухор-Талинское, Богопольское и др.) выше (примерно на 100°С) температуры вспучивания закавказских перлитов.

На технологические свойства перлитов в значительной мере влияет их структура. Перлиты месторождений РСФСР характеризуются перлитовой и перлитово-флюидальной структурой (богопольские, мухор-талинские). Для приморских перлитов характерна порфирировая структура, содержание вкрапленников<sup>1</sup> довольно высоко. Как показали петрографические и технологические исследования, особенно интенсивное порообразование идет внутри перлитовой отдельности, а также по перлитовым трещинам. При кратковременном обжиге вкрапленники полевых шпатов и кварца практически не изменяются. Таким образом, конечный результат вспучивания в значительной степени определяется наличием вкрапленников, присутствие которых увеличивает объемный вес вспученного продукта. Типичным примером может служить черная разновидность богопольского перлита, в котором содержание вкрапленников составляет 15—25%, что не позволяет получить из него вспученный продукт с объемным весом менее 0,9 г/см<sup>3</sup>. Перлиты наиболее крупного месторождения Восточной Сибири — Мухор-Талинского почти не содержат вкрапленников, однако и в них имеются загрязняющие примеси, состоящие из мельчайших зерен пироксена, магнетитовой пыли и различных кристаллитов, располагающихся узкими рядами. Они подчеркивают флюидальную текстуру породы и обуславливают ее характерную полосчатость. Во вспученном материале поры располагаются параллельно полосчатости и имеют вытянутую форму. Участки раскристаллизованного стекла во время обжига чаще всего, так же как и вкрапленники, не успевают перейти в стеклообразную фазу. Поэтому одной из основных характеристик вулканических стекол можно считать количественное соотношение в них стекловатой и кристаллической фаз.

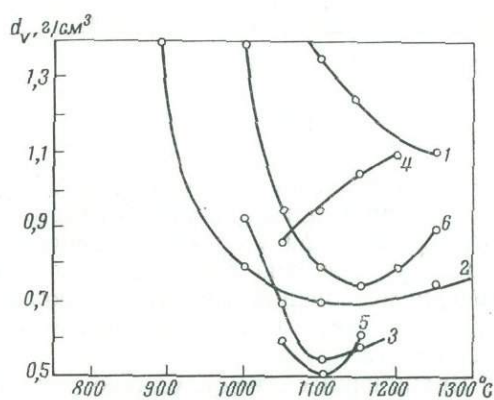
<sup>1</sup> Петрографические исследования выполнены в лаборатории физико-химических исследований Н. С. Мануйловой.

Химический состав, физические и петрографические особенности определяют технологические свойства перлита, режим термообработки, а также свойства готовой продукции. Весьма важная особенность технологии получения вспученного перлита из вулканических многоводных стекол — необходимость их термической обработки в две стадии. За последние годы проведены работы, показывающие, что двухстадийная схема обработки в ряде случаев весьма целесообразна и для армянских и для закавказских перлитов, так как обеспечивает получение более прочного вспученного материала с пониженной трещиноватостью. Испытания перлитов многочисленных месторождений



Фиг. 3. Зависимость объемного веса перлита в куске от содержания остаточной воды

1, 2 — богородский черный и темно-зеленый; 3, 4 — мухор-талинский коричневый и темно-зеленый; 5, 6 — барун-аршанский; 7 — малазовский



Фиг. 4. Зависимость объемного веса перлита от температуры вспучивания

1, 2 — богородский черный и светло-зеленый; 3 — мухор-талинский; 4, 5 — барун-аршанский; 6 — малазовский

и проявлений РСФСР показали, что без предварительного удаления части воды не удастся получить хорошо вспученный продукт ни в виде щебня, ни в виде песка.

Интересно, что несмотря на данные многих теоретических работ показывающих, что для эффективного вспучивания достаточно содержание воды в количестве 0,5—1,2%, а также вспучивания обсидианов, наши исследования показывают, что оптимальное содержание воды в перлитах перед вспучиванием в большинстве случаев составляет около 3% (фиг. 3). Исключением служит упомянутый выше черный богородский перлит, для которого эта величина снижается до 1%. Возможно, что некоторый избыток воды может положительно влиять на процесс вспучивания в результате снижения вязкости вулканического стекла. Характер связи воды со стеклом также может иметь значение.

Содержание воды, количественно совпадающее с оптимальным, можно получить при различных температурах, изменяя продолжительность обработки. Однако нагрев выше определенной температуры резко ухудшает вспучиваемость, хотя общее содержание воды остается неизменным. Видимо, при более высоких температурах теряются нужные для вспучивания виды воды. Оптимальная температура вспучивания колеблется в основном в пределах 1100—1150° (фиг. 4).

Продолжительность вспучивания исследованных в ВНИИСТРОМ перлитов практически не отличается от таковой для других месторож-

дений. Опыт показал, что удлинение времени пребывания в печи сырого перлита приводит к значительному увеличению насыпного веса перлитового песка (при одновременном увеличении его прочности). Обжиг щебня требует несколько большей продолжительности. Однако и здесь продолжительность вспучивания ничтожна по сравнению с другими видами сырья — от 45 сек до 1 мин.

Разработанные технологические параметры вспучивания перлитов РСФСР позволили сотрудникам ВНИИСТРОМ предложить схему про-

Физико-механические свойства вспученного перлита

Величина зерна, мм	Насыпной объемный вес, кг/м <sup>3</sup>	Предел прочности при сжатии в цилиндре, кг/см <sup>2</sup>
10—20	300—450	7—14
5—10	200—300	4—7
<5	100—250	2—4

изводства вспученного перлита во вращающихся печах, обеспечивающую получение пористого заполнителя в виде щебня и песка для теплоизоляционно-конструктивных и конструктивных бетонов. Эта схема внедрена на некоторых предприятиях Восточной Сибири, а также Приморского края. Работы по внедрению технологии производства перлитового запол-

нителя и обследование уже действующих установок позволили установить в первом приближении оптимальные размеры печей для термообработки. Благодаря уточнению температурного и гидродинамического режимов, увеличению теплового напряжения печи и некоторых других усовершенствований технологического процесса удалось повысить производительность одной технологической линии с 10 тыс. до 25—30 тыс. м<sup>3</sup> вспученного материала в год.

Вращающиеся печи, однако, малоперспективны в отношении дальнейшего увеличения производительности, так как невозможно увеличивать размеры печей и соответственно продолжительность обжига материала. Поэтому в имеющихся типовых проектах цехов мощностью 30, 45 и 50 тыс. м<sup>3</sup> в год предусматривается установка двух и трех технологических линий, что, разумеется, приводит к увеличению количества оборудования и повышению капитальных вложений.

С целью выбора теплового агрегата, обеспечивающего производительность до 50—100 тыс. м<sup>3</sup> в год, были изучены процессы термической обработки зернистых материалов, применяемые в других областях промышленности. В результате установлено, что возможно применять печи с кипящим слоем.

Проведенные лабораторные исследования и полупромышленные испытания показали, что из перлитов месторождений РСФСР при двухстадийной схеме обжига в печах с кипящим слоем могут быть получены перлитовый щебень (размер гранул до 10 мм,  $d_v = 275—350$  кг/м<sup>3</sup>) и песок (до 5 мм,  $d_v = 140—275$  кг/м<sup>3</sup>).

Производительность печи составила 1,5—2,0 т/час с 1 м<sup>2</sup> пода печи, что соответствует 7—10 м<sup>3</sup>/час вспученного продукта. Систематическое наблюдение за вспученным перлитом, выпускаемым различными установками Восточной Сибири на основе сырья Мухор-Талинского месторождения, показало, что насыпной вес и механическая прочность колеблются в пределах, указанных в таблице.

Ввиду того, что вспученный перлит — новый вид заполнителя для бетонов, было уделено особое внимание изучению свойств вспученного продукта. Кроме определения свойств в соответствии с требованиями ГОСТ 9758-65 и 10832-64, проведено исследование устойчивости вспученного перлита к воздействию водной среды по специально разработанной методике. Механическая прочность и морозостойкость перлитового щебня отвечают требованиям ГОСТ 10832-64, причем прочность зерен после испытания на морозостойкость (15 и 30 циклов) почти не



снижается по сравнению с первоначальной. Коэффициент размягчения (определен по методике ГОСТ 9758-65) вспученного щебня с насыпным объемным весом  $350 \text{ кг/м}^3$  составляет 0,87.

Исследования, проведенные в Центральном научно-исследовательском институте проектирования и Научно-исследовательском институте строительной физики, а также непосредственное практическое применение перлитобетона в промышленных и жилых зданиях подтвердили достаточную стойкость конструктивно-теплоизоляционного перлитобетона в условиях эксплуатации. Однако эти данные относятся к вспученному перлиту, полученному из высококачественного сырья. В процессе эксплуатации Мухор-Талинского месторождения среди чистых вулканических стекол выявлены линзы измененных стекловатых пород. Поэтому возникла задача разработать методику испытания перлитового сырья, которая позволила бы давать оценку качества всех разновидностей перлитов и наметить области их применения. Такая методика и была разработана во ВНИИСТРОМ. Для всех видов сырья были предусмотрены сокращенные лабораторные испытания технологических проб, а для средней валовой пробы — полузаводские или заводские испытания. При массовых лабораторных испытаниях с достаточной достоверностью могут быть определены: 1) способность сырья к вспучиванию, 2) оптимальные условия вспучивания, 3) основные технологические свойства крупной фракции сырья: объемный вес (в куске), коэффициент вспучивания, водопоглощение.

В том случае, когда сырье неоднородно для выявления особенностей режима вспучивания, рекомендуется по возможности выделить типичные разновидности пород и проводить их испытания отдельно. Поэтому вначале следует разделить все поступившие пробы по макроскопическим признакам на группы и для наиболее типичных проб из каждой группы подобрать оптимальные режимы вспучивания, которые в дальнейшем использовать при испытании остальных проб. Это позволит значительно сократить общий объем работы. Учитывая, что селективная добыча перлитового сырья не всегда может быть осуществима, в отдельных случаях необходимо предусматривать также лабораторные испытания средней пробы.

Для вспучивания перлитовой породы в виде щебня рекомендуется фракция 7—10 мм, а для получения вспученного песка фракция 0,5—3 мм.

На основании большего количества экспериментальных данных для фракции 7—10 мм установлен переводной коэффициент от объемного веса в куске к насыпному весу  $K_{об} / K_{нас}$ , составляющий в среднем 2,0. Практика работ научно-исследовательских организаций и предприятий по производству вспученного перлита показала, что при удовлетворительном качестве перлитового щебня, отвечающего требованиям ГОСТ 10832-64, вспученный перлитовый песок из этой же породы, как правило, получается также кондиционным. Если же коэффициент вспучивания щебня более 4, то данное сырье можно считать пригодным и для производства вспученного песка для целей теплоизоляции.

## ВЫВОДЫ

1. Проведенные исследования показали, что технологические свойства перлитового сырья зависят от его физико-химических особенностей: содержания воды, вязкости, микроструктуры, наличия вкрапленников и неоднородности материала. Перлиты месторождений РСФСР — многоводные стекла, требующие для вспучивания двухстадийной схемы обработки; первый этап — удаление части воды, препятствующей нор-

мальному протеканию процесса вспучивания, второй — пемзообразование.

2. Вязкость перлитов месторождений РСФСР заметно превосходит вязкость перлитов закавказских и закарпатских месторождений, чем обуславливаются более высокие температуры их вспучивания (на 50—150°).

3. Вкрапленники и измененные разности — балласт, так как в них не происходит порообразования.

4. Проведенные исследования перлитов некоторых месторождений РСФСР установили возможность получить вспученные песок и щебень, пригодные для использования как пористый заполнитель бетонов.

5. Разработанный в лабораторных условиях и проверенный в промышленном масштабе новый эффективный метод обжига перлита в виде песка и щебня в печах с кипящим (псевдооживленным) слоем является высокопроизводительным и обеспечивает хорошее качество вспученного материала.

6. Разработанные сотрудниками ВНИИСТРОМ совместно с сотрудниками центральной лаборатории Иркутского геологического управления «Указания по испытанию вулканических водосодержащих пород» позволяют произвести комплексную оценку всех разновидностей, составляющих месторождение, с получением технологических параметров их вспучивания и показателей, характеризующих свойства готового продукта.

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
строительных материалов

■

А. Е. РОХВАРГЕР

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ ПРОЦЕССА ПОРИЗАЦИИ НЕКОТОРЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ПЕРЛИТОВ

Изучение процесса термической поризации перлитов до сих пор шло по пути накопления фактических данных, причем главное внимание уделялось особенностям механизма этого процесса. Однако при переходе к массовому выпуску вспученного перлита необходимы автоматизация промышленных агрегатов и повышение эффективности их работы. Эти мероприятия могут быть осуществлены только на базе достаточно полных количественных исследований различных стадий этого процесса. Без этого невозможно уверенно управлять процессом порообразования. Вспучивание перлита напоминает природное пемзообразование, поэтому математическое описание физико-химических основ такого процесса представит интерес и для решения генетических вопросов формирования пемзы.

Поскольку реакция термической поризации — процесс, вызванный энергией, внесенной в систему (изменением массы исходного стекла можно пренебречь), то формально можно записать



где  $M$  — количество исходного компонента (стекло);  $Q$  — величина теплового воздействия;  $R$  — количество конечного компонента.

Так как  $M = \text{const} = 1$ , то окончательно

$$Q \rightarrow R. \quad (2)$$

Следует отметить, что реакция (2) идет в одну сторону.

Теперь рассмотрим этот процесс несколько иначе:



где  $A_0$  и  $A_1$  — количество твердой фазы (масса стекла) в начале и конце процесса;  $B_0$  и  $B_1$  — количество газообразной фазы (объем пор) в начале и конце процесса.

Приняв  $B_0 = 0$ , так как объемом пор в исходной породе здесь можно пренебречь, и  $A_0 = A_1 = \text{const}$ , так как сам процесс поризации вызывает 0,1—0,3% газообразователя (по весу) и приняв  $A_1 + B_1 = C$  ( $A_1 = \text{const}$  и переменная только  $B_1$ ), получим

$$A_0 \rightarrow C. \quad (4)$$

Мы опять пришли к стандартному виду кинетического процесса первого формального порядка. Скорость исследуемого процесса по закону действующих масс будет

$$W = K[A_0]^n, \quad (5)$$

где  $K$  — константа скорости реакции. При  $n=1$ , так как  $A_0 = A_1 = \text{const}$ , то  $W = K$ .

Для процесса, имеющего первый кинетический порядок,

$$W = \frac{dy}{dt} = -Ky, \quad (6)$$

где  $\tau$  — время протекания процесса;  $y$  — количество образующегося в ходе процесса нового компонента (это количество пор, которое отражается в величине объемного веса перлита).

Вообще  $\gamma$  (в  $г/см^3$ ) — это концентрация твердого вещества (стекла), сохраняющаяся в единице объема, или, наоборот, концентрация газовой фазы, образующейся в результате термического процесса.

Решая уравнения (6), получим

$$\ln y = \ln y_0 - K\tau \quad (7)$$

или

$$y = y_0 \exp(-K\tau). \quad (8)$$

В химической кинетике  $y_0$  показывает начальную концентрацию компонента, реагирующего в растворе. Иногда оказывается, что величина  $y_0$  включает в себя ошибки определения  $y$  и колебания аппаратных условий процесса. Поэтому в дальнейшем мы будем говорить о предэкспоненциальном множителе  $A$ .

Таким образом, возможно проведение кинетического описания процесса термической поризации перлита на основании объемного веса, т. е. параметра, имеющего технологическое значение и характеризующего качество продукта.

Сам же процесс поризации, по-видимому, является развитием исходной сети поровых каналов породы, которое происходит под действием нестационарного теплового нагрева.

При построении кинетических моделей физико-химических процессов возможны различные постановки задачи, которые приводят к разным схемам планирования эксперимента и обработки его результатов.

В общем случае могут существовать два не исключаящих друг друга подхода. Первый ограничивается получением удовлетворительной математической модели для управления выбранным процессом или его интерпретации. Причем выполненная интерпретация соответствует постановке задачи.

Второй подход предполагает решение таких проблем, как определение порядка и константы скорости реакции, энергии активации процесса, роли внешних условий и т. п. Например, Бокс и Хантер (Box, Hunter, 1962) рассматривали с классических кинетических позиций возможности статистического описания искусственно созданного примера исследования пары сопряженных химических реакций.

В нашем эксперименте определялся объемный вес мухор-талинского перлита после термической обработки породы (фракция 7—10 мм) без какого-либо отсева получаемых зерен. Термоподготовка проводилась в обычном лабораторном муфеле, а обжиг — в специальной муфельной электропечи (Явиц, 1963) на металлическом шибере.

Эксперимент планировался по ротатальной схеме второго порядка (Налимов, Чернова, 1965) для первых трех параметров ( $t_1$  — температура термоподготовки,  $\tau_1$  — период термоподготовки,  $t_2$  — температура обжига) и по схеме, близкой к ортогональной для четырех параметров ( $\tau_2$  — период обжига). Матрица планирования и результаты опытов приведены в табл. 1.

$y_1 \div y_5$  значения объемных весов, измеренных после обжига, прошедшего в течение 10, 26, 50, 74 и 90 сек соответственно.

Таблица 1

Результаты опытов и кинетическая аппроксимация экспериментальных данных по термической поризации перлита Мухор-Талы

№ опыта	Условия обжига					$\tau_2$ , сек					Частный вид правой части кинетического уравнения $\ln \gamma = \ln A - K\tau$
	$t_1$ , °C $X_1$	$\tau_1$ , мин $X_2$	$t_2$ , °C $X_3$								
				10 $y_1$	20 $y_2$	50 $y_3$	74 $y_4$	90 $y_5$			
1	—	—	—	2,72	1,40	1,90	1,80	1,40	0,82—0,0047 $\tau$		
2	+	—	+	1,60	1,43	0,60	0,60	0,60	0,47—0,0081 $\tau$		
3	—	+	+	2,90	1,11	1,00	1,10	0,90	0,77—0,0108 $\tau$		
4	+	+	—	1,80	1,81	0,90	1,90	1,95	0,43+0,0010 $\tau$		
5	—	—	+	3,10	0,90	0,90	0,86	1,13	0,65—0,0095 $\tau$		
6	+	—	—	1,60	1,49	1,48	1,60	1,84	0,38+0,0017 $\tau$		
7	—	+	—	2,70	1,60	2,00	1,20	1,08	0,98—0,0100 $\tau$		
8	+	+	+	2,26	0,80	0,55	0,50	0,50	0,54—0,0164 $\tau$		
9	0	0	0	2,10	1,50	1,30	1,55	1,20	0,65—0,0050 $\tau$		
10	0	0	0	1,70	1,20	1,40	1,20	1,10	0,42—0,0040 $\tau$		
11	+1,682	0	0	2,43	2,51	1,07	1,20	1,06	1,01—0,0117 $\tau$		
12	—1,682	0	0	2,70	1,38	1,44	2,05	2,02	0,64   0,0485 $\tau$		
13	0	+1,682	0	2,47	1,50	0,50	0,67	0,65	0,79—0,0167 $\tau$		
14	0	—1,682	0	1,60	1,20	1,70	2,75	1,08	0,41+0,0961 $\tau$		
15	0	0	+1,682	1,67	0,70	0,40	0,55	0,70	—6,20—0,0028 $\tau$		
16	0	0	—1,682	1,32	1,70	2,03	1,95	2,01	0,34+0,0046 $\tau$		
17	0	0	0	1,55	1,55	1,10	1,10	1,16	0,47—0,0045 $\tau$		
18	0	0	0	1,70	1,04	0,94	0,70	0,90	0,41—0,0080 $\tau$		
19	0	0	0	1,40	1,16	0,94	1,40	0,80	0,31—0,0041 $\tau$		
20	0	0	0	1,65	1,15	0,85	0,90	1,58	0,25—0,0017 $\tau$		

Примечание. Основные уровни для  $t_1$ —340,  $\tau_1$ —9,  $t_2$ —275; интервалы варьирования соответственно 55, 3,5, 105; верхний уровень 395, 12,5, 1030; нижний уровень 285, 5,5, 870;  $\gamma$  (в г/см<sup>3</sup>)—объемный вес (в куске),  $t$ —температура,  $\tau$ —время.

Весьма интересно также рассмотреть действие факторов термической подготовки перлита. Во-первых, подтверждается существование абсолютного оптимума условий термической подготовки породы. Во-вторых, оказывается, что температура термической подготовки, которая обеспечивает максимальную интенсивность порообразования, является температурой точки перегиба первой и самой большой эндотермической волны на термограмме мухор-талинского перлита [температура 325—330°С указывается в работах В. В. Наседкина (1963), С. П. Камеицкого (1963) и Н. С. Мануйловой (1962)].

Таблица 2

Результаты опытов и кинетическая аппроксимация экспериментальных данных по термической поризации перлита Арагацкого месторождения

№ опыта	Условия обжига						Частный вид правой части уравнения $\ln \gamma = \ln A - K\tau$
	t, °С	Время (τ), сек					
		5	17	45	73	85	
1	900	1,17	0,73	0,62	0,63	0,63	-0,2225-0,003424τ
2	900	1,45	0,74	0,56	0,56	0,71	-0,0569-0,007627τ
3	1041	0,96	0,31	0,29	0,33	0,29	-0,5239-0,009666τ
4	900	1,27	0,73	0,61	0,63	0,60	-0,2626-0,003145τ
5	759	1,51	1,42	1,09	1,06	1,03	+0,4090-0,004926τ
6	900	1,64	0,75	0,60	0,58	0,62	+0,1698-0,009669τ
7	1100	0,69	0,23	0,25	0,23	0,25	-0,8334-0,008517τ
8	1041	0,85	0,31	0,28	0,29	0,28	-0,5866-0,009708τ
9	759	1,31	1,19	1,06	1,02	0,93	+0,2342-0,002561τ
10	900	1,86	0,61	0,54	0,52	0,50	+0,1709-0,011971τ
11	700	1,63	1,50	1,53	1,50	1,51	+0,4563-0,000642τ
12	900	1,38	0,89	0,70	0,60	0,64	+0,7571-0,014349τ
13	1100	0,72	0,23	0,23	0,25	0,23	+0,8160-0,009084τ

Примечание. Обозначения те же, что и в табл. 1

Таблица 3

Результаты опытов и кинетическая аппроксимация экспериментальных данных по термической поризации перлита Берегово

№ опыта	Условия обжига						Частный вид правой части уравнения $\ln \gamma = \ln A - K\tau$
	t, °С	Время (τ), сек					
		5	17	45	73	85	
1	900	2,13	1,24	1,11	1,08	1,02	0,5489-0,006988τ
2	900	1,94	1,27	1,19	1,10	0,93	0,5352-0,007012τ
3	1041	1,24	0,65	0,59	0,59	0,67	-0,07630-0,005733τ
4	900	1,45	0,96	0,81	0,91	0,88	0,1766-0,004009τ
5	759	1,69	1,48	1,19	1,17	1,22	0,4744-0,004113τ
6	900	1,46	0,74	0,84	0,81	0,86	0,0842-0,003909τ
7	900	1,52	0,98	0,82	0,84	0,86	0,2307-0,005683τ
8	1041	1,05	0,62	0,63	0,62	0,63	0,0802-0,007971τ
9	759	1,94	1,45	1,09	1,19	1,26	0,5203-0,004781τ
10	900	2,13	1,02	1,04	0,97	0,95	0,4647-0,007069τ
11	700	2,12	2,08	1,90	1,94	1,87	0,7486-0,001462τ
12	900	2,16	0,95	1,03	0,93	0,91	0,4148-0,005794τ

Примечание. Обозначения те же, что и в табл. 1.

Формула (7) имеет линейный вид, и поэтому неизвестные значения  $\ln A$  и  $K$  могут быть вычислены для каждой строки табл. 1 методом наименьших квадратов по пяти значениям объемного веса перлита, соответствующим различным периодам его обжига ( $\gamma_1$ — $\gamma_5$ ). Результаты этих вычислений выписаны в последнем столбце табл. 1.

По полученным величинам  $K$  на ЭЦВМ (электронно-вычислительной машине) «Минск-1» была построена модель второго порядка для переменных  $x_1$ ,  $x_2$  и  $x_3$  (теперь  $x_4$  в неявном виде входит в  $K$ ), которые представляют безразмерные кодированные величины натуральных переменных  $t_1$  и  $\tau_1$ ,  $t_2$  и  $\tau_2$  (3):

$$K = 0,0042 + 0,0055 X_1 - 0,0150 X_2 - 0,0033 X_3 - 0,0003 X_1 X_2 - \\ - 0,0027 X_1 X_3 - 0,0004 X_2 X_3 - 0,0114 X_1^2 + 0,0133 X_2^2 - 0,0004 X_3^2. \quad (9)$$

Это уравнение адекватно представляет результаты эксперимента ( $F_{\text{эсп.}}(5,5) = 1,66$ ;  $F_{\text{табл}}(0,05) = 5,1$ ), где  $F$  — табулированный статистический вероятностный критерий Фишера (Налимов, 1960).

Адекватность уравнения (9) является экспериментальным подтверждением априорно выбранного кинетического порядка процесса термической поризации перлита.

В результате канонического преобразования уравнение (9) принимает вид

$$K + 0,0358 = - 0,0138 X_1^2 - 0,0112 X_2^2 - 0,0002 X_3^2. \quad (10)$$

Полученная поверхность отклика является «максимумом», так как все знаки канонической формы отрицательны и во всех двумерных сечениях функции линии равных значений  $K$  представляют собой эллипсы. Коэффициенты при канонических переменных не равны друг другу.

Особая точка имеет в кодированном масштабе следующие координаты:  $X_1 = -0,03734$ ;  $X_2 = +0,6444$ ;  $X_3 = +5,1250$ . Если для факторов  $X_1$  и  $X_2$  координаты экстремума находятся в экспериментальной области ( $325^\circ\text{C}$  и  $11,2$  мин), то для фактора  $X_3$  максимум лежит при температурах порядка  $1500^\circ\text{C}$  ( $1515^\circ$  по расчету). Несмотря на столь далекую экстраполяцию, этот факт удается хорошо интерпретировать. Так, В. В. Наседкин (1963), описывая эксперимент по плавлению естественного стекла, близкого по составу к нашему, указывает интервал  $1500$ — $1580^\circ\text{C}$  как интервал порообразования при остывании расплава, а В. Т. Славянский (1957) считает, что пузыри в стеклах появляются уже при вязкости несколько менее  $10^4$  пуаз.

На диаграмме  $\text{K}_2\text{O}$ — $\text{Al}_2\text{O}_3$ — $\text{SiO}_2$  (Евстропов, Торопов, 1956) линии ликвидуса для состава, близкого к нашему (при условном суммировании  $\text{Na}_2\text{O}$  с  $\text{K}_2\text{O}$ ), соответствует температура около  $1500^\circ\text{C}$ .

Хотя химический состав мухор-талинского перлита несколько отличается от составов стекол, для которых М. В. Охотиным (Китайгородский, 1961) были найдены эмпирические коэффициенты  $A$ ,  $B$ ,  $C$  и  $D$  в уравнении  $t = Ax - By + Cz + D$  ( $x$ ,  $y$  и  $z$  — соответственно процентное содержание  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{CaO} + \text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), тем не менее при суммировании  $\text{Na}_2\text{O}$  с  $\text{K}_2\text{O}$  получаем для вязкости  $10^3$  пуаз температуру  $1550^\circ$ . Совпадение этих данных с температурой особой точки надо признать хорошим. Вязкость  $10^3$  пуаз — вязкость расплава, характерная для верхнего предела кристаллизации обширного класса силикатных стекол. Таким образом, можно предположить, что скорость поризации увеличивается с ростом температуры до температуры порядка  $1500^\circ\text{C}$ , что соответствует той минимальной вязкости изучавшегося стекла, при которой достигается максимум интенсивности порообразования.

Таблица 4

Результаты статистической проверки эмпирических уравнений и расчет энергии активации процесса поризации перлита

Уравнение	$S_{\text{общ}}^2$	$S_0^2$	$F_{\text{расч.}}$	$F_{\text{табл.}}^{[0,05]}$
1. $K=1,6100 \exp(-6617,913 \cdot 1/T)$ ( $E=13,44979$ ккал/г·мол) . . .	0,0000139	0,0000205	0,7	5,0
2. $\ln K=0,4764-6617,913 \cdot 1/T$	0,3233	0,412	0,8	5,0
3. $K=0,1996 \exp(-4235,537 \cdot 1/T)$ ( $E=8,44601$ ккал/г·моль) . . .	0,0000078	0,0000019	4,15	5,2
4. $\ln K=-1,6114-4235,537 \cdot 1/T$	0,4577	0,0660	2,4	5,2

Примечание. Уравнения 2 и 4—логарифмические формы уравнений 1 и 3 соответственно. Первые два уравнения относятся к табл. 2, вторые—к табл. 3.

Формула Аррениуса  $K = [K_0 \exp(-\frac{E}{RT})]$ .  $S_{\text{общ}}^2$ —общая дисперсия адекватности математического описания;  $S_0^2$ —дисперсия, характеризующая ошибку опыта;  $F_{\text{табл}}$ —значение статистического критерия Фишера, применяемого для сравнения двух дисперсий при уровне надежности около 95%;  $F_{\text{расч}}$ —расчетное значение критерия Фишера. Вычислен коэффициент корреляции  $r_{xy}(\text{расч})=[0,726]$ ;  $r_{\text{табл}}=0,576$ , где  $r_{\text{табл}}$ —значение коэффициента корреляции при уровне надежности  $\sim 95\%$ .

Поризация арагацкого и береговского перлитов проводилась в одну стадию. Обжиг осуществлялся в той же муфельной печи, что и обжиг мухор-талинского перлита. В табл. 2 и 3 приводятся условия получения образцов вспученного перлита исходной фракции 3—5 мм, средние значения объемных весов (в куске) этих образцов (3 параллельных опыта) и результаты кинетической аппроксимации экспериментальных данных, которые проводились на ЭЦВМ «Минск-1» методом наименьших квадратов. Далее на основании уравнения Аррениуса также методом наименьших квадратов определялись величины  $K_0$  и  $E/R$  в выражении  $K=K_0 \exp(-E/RT)$ , где  $K$ —абсолютное значение константы скорости процесса термической поризации перлита;  $E$ —кажущаяся энергия активации этого процесса;  $R$ —универсальная газовая постоянная, принятая 1,987 кал/град;  $T$ —температура, °K.

Для арагацкого и береговского перлитов величина  $E$  вычислялась как средняя для диапазона температур 973—1373°K. В случае мухор-талинского перлита  $E$  рассчитывалась для интервала температур 1038—1458°K. За основу брался ранее полученный многочлен второй степени (уравнение 9), в который подставлялись оптимальные значения условий термоподготовки мухор-талинского перлита  $t_1=325^\circ\text{C}$ ,  $\tau_1=11,2$  мин. Получилось уравнение (см. табл. 5)

$$K = -0,0119 - 0,0026 X_3 - 0,0004 X_2^2. \quad (11)$$

Интересно отметить, что, продифференцировав уравнение (11) и приравняв результат нулю, найдем температуру начала процесса поризации +633°С. Это совпадает с результатами обширных петрографических исследований в работах Н. С. Мануйловой (1961), Келлера и Пикетта (Keller, Pickett, 1954). В табл. 5 приводятся промежуточные расчеты, а также результаты аппроксимации уравнением Аррениуса зависимости  $K$  от температуры процесса поризации мухор-талинского перлита.

На фиг. 1 видно, как интересующий нас участок экспоненты охватывает соответствующий участок параболы, адекватно отражающей зависимость константы скорости процесса поризации мухор-талинского

Таблица 5

Параметры расчета зависимости константы скорости от температуры процесса термической поризации перлита Мухор-Талы\*

$X_2$	$t, ^\circ\text{C}$	$t, ^\circ\text{K}$	$1/T$	$K$	$\ln K$
-2,0	785	1038	0,000963	0,0083	-4,7915
-1,5	817,5	1080,5	0,000924	0,0089	-4,7217
-1,0	870	1143	0,000875	0,0097	-4,6356
-0,5	922,5	1195,5	0,000837	0,0107	-4,5375
0	975	1248	0,000801	0,0119	-4,4312
+0,5	1027,5	1300,5	0,000769	0,0133	-4,3200
+1,0	1080	1354	0,000739	0,0149	-4,2064
+1,5	1132,5	1405	0,000711	0,0167	-4,0924
+2,0	1185	1458	0,000686	0,0187	-3,9792

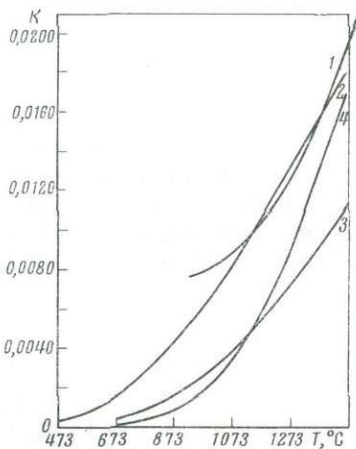
\* Расчет производится по уравнению Аррениуса  $K=K_0 \exp(-E/RT)$ , исходя из эмпирического уравнения регрессии (9), полученного по данным табл. 1 при  $X_1=X_2=0$ ;

$$K = -0,0119 - 0,026 X_2 - 0,0004 X_2^2; t, ^\circ\text{C} = 975 + X_{30} \cdot 105; K = 0,1307 \exp(-2929,641 1/T);$$

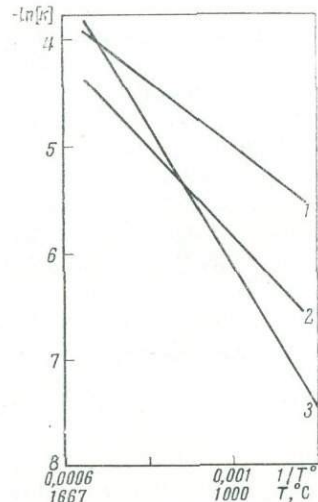
$$E = 5,82120 \text{ ккал/г} \cdot \text{моль}.$$

перлита от температуры. На фиг. 2 изображена зависимость  $\ln K$  от  $1/T$ , которая позволяет вычислить энергию активации процесса.

В табл. 4 приводятся результаты статистической проверки полученных уравнений. Если для береговского перлита  $F$ -отношение оказалось приемлемым для уровня значимости 0,05, то для арагацкого перлита  $F_{\text{расч}} < 1$ . Так как  $F$  по определению  $> 1$ , то были сделаны некоторые шаги для подтверждения адекватности экспериментального уравнения.



Фиг. 1



Фиг. 2

Фиг. 1. Зависимость константы скорости процесса поризации ( $K$ ) от температуры ( $T^\circ\text{C}$ ).

1—2— кривые, характеризующие перлит Мухор-Талы (1— построена по точкам, вычисленным по уравнению (9); 2— по уравнению Аррениуса; 3— перлит закарпатского месторождения (Берегово); 4— Арагацкого (3—4— построены по точкам, вычисленным по уравнению Аррениуса)

Фиг. 2. Логарифмическая зависимость константы скорости процесса от температуры 1— перлит Мухор-Талы; 2— Берегово; 3— Арагацкого месторождения



Во-первых, для арагацкого перлита был вычислен коэффициент парной корреляции между  $\ln K$  и  $1/T$ . Его значение превысило соответствующую табличную величину для уровня значимости 0,05, что указывает на тесную связь между рассматриваемыми показателями. Во-вторых, статистическая проверка была повторена, но уже не по  $\ln K$ , а по натуральным значениям  $K$ , чтобы избежать подозрения в искажении нормального закона распределения при логарифмическом преобразовании  $K$ . Оказалось, что для арагацкого перлита величина отношения  $F$  даже снизилась примерно на 0,1. В то же время для береговского перлита отношение  $F$  повысилось, но не превысило соответствующей табличной величины при уровне значимости 0,05 (табл. 4).

Таким образом, полученное уравнение для арагацкого перлита, по-видимому, весьма хорошо описывает процесс его поризации, причем ошибка аппроксимации оказывается даже меньше ошибки определения.

Из всего этого следует, что первый кинетический порядок характерен для процесса поризации любых перлитов. Здесь уместно указать на один из примеров теплофизического описания процесса вспучивания (Буз, 1966), где общие математические построения, проведенные на основании экспериментальных данных работы П. П. Будникова (Будников и др., 1963), привели к решению экспоненциального вида.

Сравнивая энергии активации трех изученных разновидностей перлита и рассматривая фиг. 1 и 2, можно убедиться, что наиболее резко повышается с увеличением температуры скорость поризации арагацкого перлита и наиболее медленно у мухор-талинского перлита, прошедшего термическую подготовку при оптимальных условиях ( $t=325$  С,  $\tau=11, 2$  мин). Береговский перлит занимает промежуточное положение, находясь ближе к мухор-талинскому. В общем случае высокая величина  $E$  указывает на малую скорость процесса. Однако существенное значение имеет также и величина  $K_0$ .

Абсолютные значения констант скоростей (последние численно равны скоростям процесса первого кинетического порядка) в диапазоне температур промышленного обжига перлитов оказываются вследствие значений  $K_0$  и  $E$  выше у мухор-талинского перлита, чем у других разновидностей. Скорость поризации арагацкого перлита до температуры 1140° К ниже, чем у береговского. Но затем благодаря большей величине  $K_0$  поризация этого перлита протекает более интенсивно, чем у береговского.

Столь высокая чувствительность арагацкого перлита к изменению температуры обжига, по-видимому, объясняет самую большую неоднородность объемного веса этого материала после вспучивания. Соответствующие значения дисперсий определения константы скорости изменения объемного веса арагацкого, береговского и мухор-талинского перлитов располагаются по своим величинам примерно так же, как соответствующие тем же перлитам энергии активации и численно равны 0,0000205; 0,0000019; 0,0000019. Таким образом, при одних и тех же условиях реализации процесса обжига арагацкий перлит примерно в три раза менее однороден по объемному весу, чем береговский или мухор-талинский перлиты.

## ВЫВОДЫ

1. Разработана наиболее эффективная методика проведения лабораторных испытаний поризующихся вулканических водосодержащих стекол, так как при оптимальном количестве опытов при применении достаточно простой аппаратуры может быть получен максимум физико-химической и значительное количество технологической информации об исследуемом процессе.

2. Результаты получены на природном сырье, обладающем микро-неоднородностью свойств, поэтому для количественного описания процесса вспучивания вполне возможно применение статистического метода.

3. Для мухор-талинского перлита найдены оптимальная температура термической подготовки  $325^{\circ}\text{C}$ , а также температуры обжига, соответствующие началу и концу процесса поризации ( $633$  и  $1515^{\circ}\text{C}$  соответственно).

4. Экспериментально подтверждена гипотеза о том, что процесс термической поризации описывается кинетическим уравнением первого порядка. В основу расчетов положен технологический параметр — объемный вес вспученного перлита.

5. Для промышленного диапазона температур обжига вычислены кажущиеся энергии активации термической поризации перлитов трех основных эксплуатируемых месторождений СССР: Арагацского, Береговского и Мухор-Талинского.  $E$ , ккал/г·моль соответственно равна 13, 15; 8, 42; 5, 82, а  $K_0$  — 1,610; 0,200; 0,131. Эти величины надежны более чем на 95%.

6. Показано, что поризация оптимально термopодготовленного мухор-талинского перлита идет с наибольшей скоростью и в то же время менее чувствительна к колебаниям температуры процесса, чем береговского и особенно арагацкого перлитов, подвергавшихся однократной термической обработке.

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
строительных материалов и конструкций



А. Е. РОХВАРГЕР, Б. Н. ВИНОГРАДОВ

## О РАВНОВЕСНОМ СОДЕРЖАНИИ ВОДЫ В ВУЛКАНИЧЕСКОМ СТЕКЛЕ

Хорошо известно, что вода перлитов удаляется при нагреве непрерывно и при этом перлиты сохраняют способность к регидратации, т. е. вода не является частью их структуры, хотя и связана с ней. Очевидно, перлиты следует рассматривать не как гидраты, а как вещества типа цеолитов (Мануйлова и др., 1962). Для цеолитов характерно наличие полостей, в которые могут внедряться различные ионы, в том числе такие, как ионы воды и кальция.

Установлено (Tiselius, 1932), что, хотя молекулы воды занимают в структуре цеолитов вполне определенное положение (подобно воде в гидратах), они могут выделяться под влиянием теплового воздействия. Кривые потерь в весе при нагреве для исходного и регидратированных образцов перлита хорошо совпадают. Расчеты в работе Н. С. Мануйловой (Мануйлова и др., 1962) показали, что перлитовые трещины могут обусловить удельную поверхность порядка  $0,02$ — $0,04$  м<sup>2</sup>/г, в то время как общая внутренняя поверхность прокаленной перлитовой породы, измеренная методом низкотемпературной адсорбции азота, составляет около  $2,5$  м<sup>2</sup>/г. В этой работе изучался также характер изменения показателя преломления перлитового стекла при его гидратации в среде водяного пара при температуре до  $300^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, подобная работа была проделана В. В. Наседкиным (1963), который, также как и другие иссле-

дователи (Жуков, Тимофеева, 1962), рассматривал вопрос об уменьшении показателя светопреломления в направлении от периферии в глубь перлитовой отдельности.

По утверждению авторов указанных работ, вода в перлитовой породе находится главным образом в двух формах: молекулярной и в виде групп  $\text{OH}^{-1}$ ; обе формы воды хорошо фиксируются при помощи данных ИК спектроскопии. Здесь эти авторы вступают в кажущееся противоречие с собственными данными о непрерывном и плавном характере кривых потерь в весе при прокаливании.

ДТА показывает, что в некоторых цеолитах, так же как и в некоторых перлитах, вода выделяется в несколько приемов, что позволило некоторым исследователям говорить о неодинаковом характере воды в цеолитах (Нырков, Кобилев, 1962; Milligan, Weiser, 1937). Но, так же как и у перлитов, эндотермические эффекты у цеолитов часто носят волнообразный, плавный характер.

В работе (Wiegel, Steinhof, 1925) предлагалось применять уравнение Ван-дер-Ваальса для выражения зависимости между количеством вошедшей в цеолит жидкости и параметрами ее пара, а в работе В. В. Наседкина (1963) указывалось на линейный характер связи между изменением показателя светопреломления и привесом перлита вследствие его гидратации.

Можно подойти к данному вопросу и с другой стороны. Для этого надо учесть, что особенности взаимодействия перлита с водой во многом обуславливаются высоким содержанием в этом алюмосиликате кремнезема. Так, установлено (Егорова и др., 1958; Жданов, 1958), что центрами адсорбции являются гидроксильные группы, которые расположены на поверхности алюмосиликата. В тех же работах указывается, что кремнезем может образовывать два комплекса: силановый (гидратированный) и силоксановый (негидратированный).

Адсорбция может переходить в гидратацию поверхности (Сидоров, 1960); идет она через центры второго порядка, количество которых на высококремнеземистой поверхности сравнительно невелико. Поэтому после полного насыщения (через водородную связь) силановых участков поверхности гидратация начинает идти на силоксановой поверхности, где сила связи оказывается значительно меньше. Это, возможно, и вызывает наличие необъясненной точки перегиба на кривой показателя светопреломления в работе Н. С. Мануйловой (Мануйлова и др., 1962), т. е. с ростом общего количества адсорбированной воды возрастает доля более подвижной воды и после некоторого момента доля такой воды начинает превалировать.

Следует особо подчеркнуть, что большинство специальных исследований по гидратации и повторной гидратации (регидратации) проводилось с исходной перлитовой породой. Исключения составляют предварительные данные технологической работы (Певзнер и др., 1962), где изучался процесс гидратации вспученного перлита в среде жидкой воды. Эти данные были сопоставлены с результатами двух опытов по гидратации дробленого стекла в автоклаве. Основные результаты этой работы хорошо совпали с данными, полученными в рамках исследований по технологии перлита-бетона (Седакова, 1964). С более глубоких физико-химических позиций проведены работы Хилла (Hill, 1955) и Халлера (Haller, 1960). Они позволили наметить основные факторы, влияющие на поризованный перлит при его эксплуатации и способные привести к трещинообразованию образцов штукатурок и бетонов.

К числу таких факторов можно в первую очередь отнести степень гидратации вспученного перлита. Однако если обратимое равновесное насыщение гигроскопической влаги устанавливается практически через 10—20 мин после погружения материала в воду (Певзнер и др.,

1964), то процесс присоединения связанной воды требует более подробного рассмотрения. Так, например, в работе (Haller, 1960) показано, что скорость сорбции воды для большого класса природных и искусственных силикатных стекол имеет порядок  $10^{-8} \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \text{ сутки}^{-0,5}$ . В той же работе приведены данные по гидратации обсидиановых изделий, возраст которых определялся радиоуглеродным методом (Friedman, Smith, 1961). Оказалось, что содержание связанной воды во всех гидратированных слоях стекла составило 3,5%. На одинаковую величину максимального водопоглощения воды почти всеми силикатными стеклами указано и в работе (Roy a. oth., 1964).

Естественно, что в условиях гидротермальных воздействий как в естественных условиях, так и при изготовлении перлитобетона процесс гидратации должен идти более интенсивно, чем при сорбции влаги из воздуха при нормальных условиях.

**Матрица планирования и результаты опытов и аппроксимации экспериментальных данных по гидратации вспученного перлита в среде насыщенного водяного пара**

№ опыта		Факторы варьирования			Параметры выхода	
фактический	по плану	$X_0$	$P$ , ат $X_1$	$\tau$ , час $X_2$	$q_2 - q_1$	$(N_i - N_0) 100$
					$y_1$	$y_2$
3	1	+1	+1	+1	2,9703	0,8
9	2	+1	+1	-1	2,5823	0,8
10	3	+1	-1	+1	1,0132	0,5
5	4	+1	-1	-1	0,4900	0,3
7	5	+1	+1,414	0	2,6245	0,9
12	6	+1	-1,414	0	0,3050	0,2
4	7	+1	0	+1,414	2,4934	0,9
6	8	+1	0	-1,414	0,8200	0,4
8	9	+1	0	0	2,4726	0,6
13	10	+1	0	0	1,5345	0,6
11	11	+1	0	0	1,7753	0,8
2	12	+1	0	0	2,0570	0,6
1	13	+1	0	0	1,5981	0,6

Условия эксперимента

	$X_1$	$X_2$		$X_1$	$X_2$	
Верхняя граница диапазона варьирования			Нижний уровень	-1	3,0	2,9
+ $\alpha$	1,414	15,0	Нижняя граница диапазона варьирования			
Верхний уровень	+1	13,0	- $\alpha$	-1,414	1,0	1,0
Нулевой уровень	0	8,0	Интервал варьирования		5,0	4,6

$q_1$ —вес образца до опыта,  $q_2$ —после опыта,  $N_i$  —показатель преломления после опыта,  $N_0$  —до опыта.

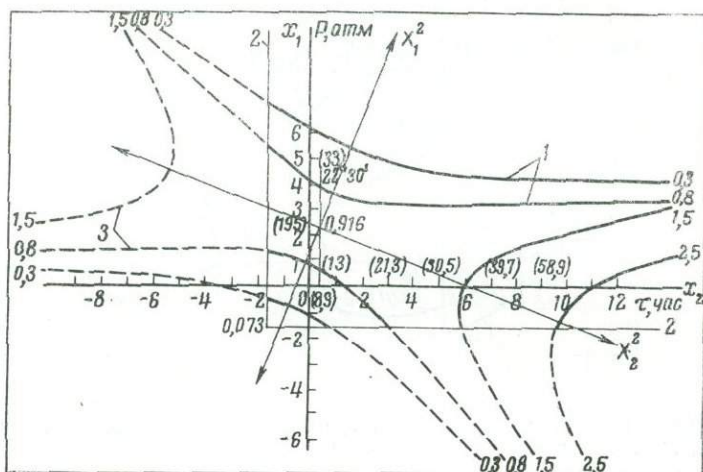
Для выявления влияния продолжительности обработки вспученного перлита и давления насыщенного водяного пара на количество и характер присоединенной связанной воды нами был проведен специальный систематический эксперимент. С этой целью были получены образцы вспученного перлита из пробы породы Мухор-Талинского месторождения. Термообработка зерен породы фракции 3—5 мм проводилась по двухстадийной схеме в строго идентичных лабораторных условиях. Обработка материала паром производилась в лабораторном автоклаве «ЛА» емкостью 18 л. Во всех опытах первоначальные навески перлита составляли  $15,0 \pm 0,1 \text{ г}$ .

В опытах изменялись давление пара (пять уровней; оно контролировалось по изменению температуры ртутного термометра и поддержи-



конечная (по крайней мере потери веса материала при прокаливании его выше 900°С не очень существенны по отношению к их общему количеству).

Таким образом, полученная нами величина 3,3% отличается от максимального уровня гидратации большинства силикатных стекол, равно- го, согласно Халлеру (Haller, 1960), 3,5%, менее чем на 6%, что можно признать весьма хорошим подтверждением справедливости уравнения по  $Y_1$ .



Фиг. 2. Изолинии показателя светопреломления стекла, прошедшего автоклавную обработку (за вычетом гигроскопической влаги)

1—изолинии значений параметра выхода; 2—границы реального существования функции; 3—иллюстративные кривые расчетных значений параметра выхода за пределами реального существования функции. Формула для определения относительной величины светопреломления

$$Y_2 \cdot 10^2 = (N_i - N_0) = 0,640 + 0,224X_1 + 0,113X_2 - 0,045X_1^2 + 0,005X_1^2 - 0,049 X_1X_2, \text{ где } X_1 \text{ и } X_2 \text{—факторы варьирования}$$

С другой стороны, величина 3,3% очень близка к величине 3,1%, обоснованной А. Е. Рохваргером в предыдущей статье данного сборника и хорошо известной технологам как оптимальное количество остаточной воды. В естественно гидратировавшейся миллионы лет лусаванской пемзе, которую можно считать природным аналогом вспученного перлита, содержится 3,1% связанной воды и 0,2% гигроскопической влаги.

Следовательно, для вспученного перлита вполне подходит вывод о том, что поглощение и выделение воды в силикатных стеклах — процесс обратимый (Milos, Volf, 1921).

Интересные выводы можно сделать и по данным модели, полученной на основании такого параметра, как показатель светопреломления (см. таблицу). Здесь исследованию подвергались препараты подсушенных после гидратации зерен. Препараты рассматривались в иммерсионных жидкостях в поляризационном микроскопе МИН-8 при увеличении в 400 раз. Исходный вспученный перлит имел показатель светопреломления 1,490. Подбор соответствующего номера иммерсионной жидкости проводился по трем и лишь иногда по двум гранулам. Наблюдалась гидратация частиц материала, которая происходила от периферии к центру, что совпадает с данными предыдущих исследователей. Толщина гидратированного слоя обычно была менее 1 мк.

Уравнение по  $Y_2$  геометрически может быть представлено «минимумом», сечения которого показаны на фиг. 2. Характерная точка до-

стигается при давлении пара порядка 19,5 атм примерно через 8,9 час. Показатель светопреломления в этой точке должен составлять 1,4997.

Следует отметить, что процесс гидратации меняется только в направлении оси  $X_1^2$ , так как ни в табл. 1, ни в других независимых опытах с данным составом вспученного перлита не было получено  $N > 1,4997$ . Показатель светопреломления изучавшейся пробы (породы мухор-талинского перлита равнялся 1,501. Если разность 1,501 и 1,490 принять за 100%, то окажется, что регидратация вспученного перлита проходит приблизительно на 88%, что может служить мерой обратимости процесса гидратации перлита.

На основании изложенного можно сделать вывод о том, что после вспучивания перлита у него почти полностью сохраняется первоначальная способность к гидратации, механизм которой, по-видимому, сходен с механизмом гидратации сырого перлита.

Сопоставление фиг. 1 и 2 позволяет заметить, что координаты центров этих моделей довольно близки. Направления оси  $X_1^2$  в факторном пространстве обеих моделей также примерно совпадают. Коэффициент парной корреляции, вычисленный по коэффициентам двух полиномов,  $r_{y_1 y_2} = 0,987$ , что указывает на статистически значимую линейную связь между ними. Определение потерь в весе происходит при нагреве, т. е. дегидратации материала, а показатель светопреломления фиксировал прямой процесс гидратации, поэтому величина  $r_{y_1 y_2}$  говорит об обратимости гидратации вспученного перлита.

Для подсчета меры обратимости гидратации было получено соответствующее уравнение регрессии, позволяющее пересчитывать значения потерь в весе при прокаливании на значения показателя светопреломления:

$$Y_1 = 0,0169 + 3,1131 Y_2.$$

Оказалось, что процесс гидратации вспученного перлита обратим примерно на 93%.

Интересно, что, применяя эти уравнения, можно предвидеть гидратацию вспученного перлита (имеется в виду связанная вода) во всем диапазоне значений, которые возможны при его водонасыщении в процессе приготовления легких бетонов как по обычной, так и по автоклавной технологии.

Исследования показали (Рохваргер, 1966), что для предотвращения гидратации вспученного перлита в процессе его службы и связанных с этим ионообменных процессов и изменений объема материала можно проводить предварительную автоклавную обработку при условиях, задаваемых на основании данных тех же уравнений или диаграмм. Причем для мелких фракций вспученного перлита инертность материала достигается при введении около 1,5%, а для крупных фракций приблизительно 0,8% связанной воды (по весу), так как именно такое количество связанной воды входит во вспученный перлит при нормальных условиях за сроки обычного долголетия строительных изделий. В заключение следует считать, что в США также проводились работы по предотвращению объемных деформаций вспученного перлита путем его предварительной гидротермальной обработки (Larson, 1962).

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
строительных материалов и конструкций

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ КИСЛЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ВОДОСОДЕРЖАЩИХ СТЕКОЛ В ИНТЕРВАЛЕ ТЕМПЕРАТУР РАЗМЯГЧЕНИЯ ПОД ДАВЛЕНИЕМ ВОДЯНЫХ ПАРОВ

Среди искусственных пористых материалов, полученных из горных пород, своими высокими тепло- и звукоизоляционными свойствами выделяются искусственные пемзы, образующиеся при вспучивании кислых водосодержащих вулканических стекол. Вулканическим стеклом принято называть горную породу, содержащую не менее 95% аморфного стекла. В природе наиболее широким распространением пользуется перлитовая разновидность стекла, для которой характерно наличие концентрически скорлуповатой отдельности (перлитовой текстуры). Реже распространен обсидиан (маловодное стекло).

Наиболее крупное месторождение перлита в СССР — Арагацское. Перлит этого месторождения детально изучен, и на его основе освоено производство легковесных пористых теплоизоляционных материалов и изделий (Каменецкий, 1963; Жуков и др., 1960).

Для изучения вязкости стекол были выбраны два образца перлита (арагацкий и закарпатский) и два образца обсидиана. Наиболее детально исследован арагацкий перлит. Закарпатский перлит (гора Шарок) отличается высоким содержанием кристаллических включений (40—50%), относительно небольшим содержанием щелочей (табл. 1), высокими значениями объемного веса и прочности на сжатие (табл. 2).

Таблица 1

Химический состав (вес. %) вулканических стекол

Компонент	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub> . . . . .	73,50	73,84	75,71	76,02	74,66	74,48
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,05	0,10	0,02	0,15	0,12	0,17
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	13,91	12,38	13,57	13,31	14,02	14,02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,90	0,82	1,19	0,59	0,63	0,71
FeO . . . . .	0,50	0,18	0,44	0,14	0,44	0,36
CaO . . . . .	0,84	0,70	1,49	1,35	1,20	1,35
MgO . . . . .	0,28	0,43	0,02	0,14	0,18	0,36
MnO . . . . .	—	—	Следы	Следы	Следы	—
Na <sub>2</sub> O <sup>+</sup> . . . . .	7,82	8,62	7,41	8,12	8,31	5,64
+K <sub>2</sub> O . . . . .	—	—	—	—	—	—
SO <sub>3</sub> . . . . .	0,13	0,13	—	Следы	Следы	Следы
П.п.п. . . . .	3,64	3,29	0,40	0,19	0,27	3,08
Сумма . . . . .	101,57	100,44	100,25	100,01	99,83	100,17

1—арагацкий перлит, среднее из 128 анализов (Ацагорцян, Акопян, 1955); 2—арагацкий перлит; 3—аргентийский (арагацкий) обсидиан, среднее из 48 анализов (Ацагорцян, Акопян, 1955); 4—аргентийский обсидиан; 5—акункский обсидиан; 6—перлит, гора Шарок, Закарпатье.

Образцы обсидиана также представлены двумя разновидностями: один из них взят из Арагацкого, другой — из Акункского (вулкан Атис в 20—25 км севернее Еревана) месторождения. Арагацкий обсидиан имеет черный цвет, вспучивается при высокой температуре. Обсидианы Акункского месторождения отличаются от обсидианов Арагацкого



Таблица 2

## Физико-механические свойства стекловатых пород

Порода и месторождение	Количество проб	Объемный вес, кг/м <sup>3</sup>		Удельный вес, г/см <sup>3</sup>	
		от и до	среднее	от и до	среднее
Перлит, Арагацское*	104	1440—2245	1956	2,36—2,44	2,37
То же	1	1470—1810	1600	—	2,39
Обсидиан, Арагацское, Аргенийский участок	16	2340—2367	2357	237—250	2,38
То же	1	2280—2325	2320	—	2,50
» Акункское	1	2290—2326	2291	—	2,33
Перлит, гора Шарок, Закарпатье	1	1858—2037	1969	—	2,38

Порода и месторождение	Количество проб	Пористость, %		Водопоглощение, вес. %		Предел прочности при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	
		от и до	среднее	от и до	среднее	от и до	среднее
Перлит, Арагацское*	104	11,8—38,6	19,40	1,3—6,2	2,40	387—875	736
То же	1	25,36—45	30,55	1,2—6,8	2,17	—	750
Обсидиан, Арагацское, Аргенийский участок	16	0,1—0,6	1	—	0,0	1336—1368	1352
То же	1	0,1—6,1	0,9	—	0,0	—	1341
» Акункское	1	0,05—3	0,8	—	0,0	—	1000
Перлит, гора Шарок, Закарпатье	1	15—28	18	—	6	—	874

\* Данные Э. А. Ацагорцяна и Г. В. Акопяна (1965).

месторождения сравнительно низким содержанием растворенной в них воды. Окраска породы серая. Обсидиан образует отдельные линзы среди перлитов. Величина линз варьирует от 1—2 мм до 5—10 м. Акункский обсидиан характеризуется равномерной вспучиваемостью при сравнительно низких температурах. В результате вспучивания получается щебень с объемным весом 200—350 кг/м<sup>3</sup>.

Все выбранные нами образцы перлита и обсидиана встречаются в виде крупных плит и обломков. Они содержат некоторое количество летучих компонентов. Автор ставил своей задачей изучить влияние летучих компонентов на вязкость стекла.

Ранее вязкость кислых стекол исследовали А. А. Леонтьева (1940) и И. Н. Явиц (1965). Нагревание стекол при атмосферном давлении приводило к вспучиванию образцов; часть летучих выделялась в процессе нагревания. Для того чтобы сохранить при нагреве летучие компоненты, содержащиеся в исследуемом материале, по-видимому, необходимо в камере для образца создавать повышенное давление газов. В зависимости от давления в камере должно изменяться количество газов в испытуемом образце. Так как при давлении 16 ат<sup>1</sup> обсидиан не вспучивается даже при температуре 1473° К, которая примерно на 100° С превышает температуру вспучивания (Воларович, Чепурин, 1944), то очевидно, что летучие компоненты в обсидиане при нагреве и атмосферном давлении развивают давление менее 16 ат. Исходя из этого, при исследовании изменения вязкости верхний предел давления взят за 16 ат. В качестве газовой среды, создающей внешнее давление, были выбраны водяные пары. Из летучих компонентов, содержащихся в силикат-

<sup>1</sup> Здесь и далее давление в абсолютных единицах.

ных системах, вода — наиболее важный фактор, способствующий увеличению текучести и вспучиваемости размягченных силикатных масс.

Для определения вязкости стекол был сконструирован аппарат, работающий по принципу прогиба горизонтальной балки, опирающейся двумя концами и нагружаемой в центре. При помощи этого прибора можно определять вязкость силикатных материалов в интервале температур размягчения вещества под давлением различных газовых сред до 40 ат и более при температурах до 1773° К. Описание конструкции прибора и порядок работы на нем детально охарактеризованы ранее (Варужанян, 1966). Здесь отметим, что во всех опытах под образец в точках его опоры подкладывают платинородиевую фольгу толщиной 0,02 мм для устранения прилипания образца к опорам и вследствие этого некоторого завышения результатов измерения кажущейся вязкости.

Испытуемые образцы имели форму параллелепипеда. Образцы такой формы просты в изготовлении. Такая форма имеет еще и то преимущество, что при слоистой структуре исследуемого материала легко изготовить образцы, слои в которых параллельны или перпендикулярны длине образца. Таким образом, можно выявить влияние текстуры на реологические свойства материала.

Скорость нагрева при определении кажущейся вязкости составляла 10 град/мин. Измерения проводились в условиях непрерывного прохождения пара через вискозиметр при поддержании заданного давления в аппарате с точностью ±0,05 ат.

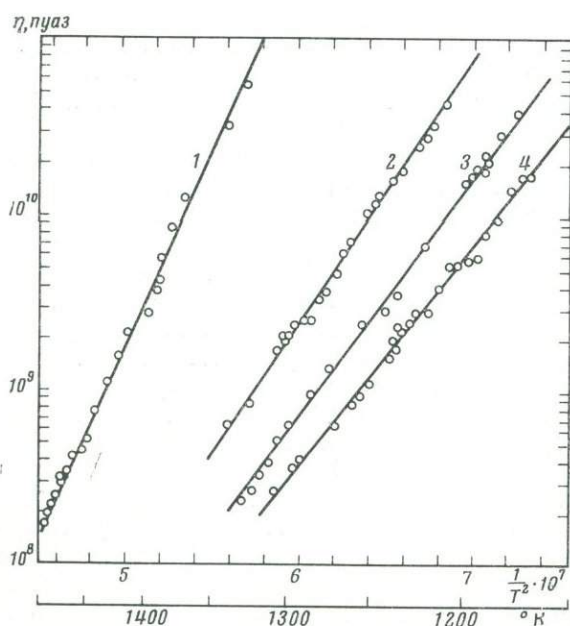
При расчете величин кажущейся вязкости использовалось уравнение (Соломин, 1945)

$$\eta = \frac{81,8 l^3 z}{bh^3 f} \left[ M + \frac{\rho A l}{1,6} \right], \quad (1)$$

где  $\eta$  — кажущаяся вязкость, пуазы;  $l$  — длина образца или расстояние между опорами, см;  $z$  — время прогиба, сек;  $f$  — величина прогиба за время  $t$ , см;  $b$  — ширина и  $h$  — высота образца, см;  $M$  — нагрузка на образец, г;  $\rho$  — плотность образца, г/см<sup>3</sup>;  $A$  — площадь поперечного сечения образца, см<sup>2</sup>.

Плотность и объемный вес в куске определялись методом гидростатического взвешивания. Перед определением отшлифованный образец подсушивался до постоянного веса при 378° К. Пористость отдельных разновидностей стекла достигала 10%. Второе слагаемое в формуле (1) учитывает влияние собственного веса образца на вязкое течение.

Для получения сравнительных данных и выявления влияния повышенной концентрации водяных паров на кажущуюся вязкость перлито-



Фиг. 1. Изобары вязкости стекловатых пород при атмосферном давлении

1 — перлит, гора Шарок, с. Затышня, Закарпатье; 2 — перлит (арагацкий) Артеги, Арм. ССР; 3 — обсидиан (арагацкий); 4 — обсидиан (акунский), Ахтинский район, Арм. ССР

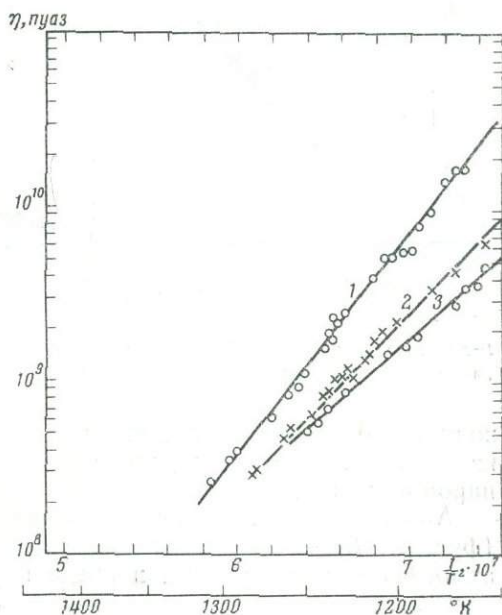
ых пород исследования проводились как в среде воздуха, так и водяных паров. Результаты исследования приведены на фиг. 1—5.

Рассмотрение графика (фиг. 1) зависимости вязкости вулканических водосодержащих стекол от температуры в среде воздуха при атмосферном давлении показывает, что, несмотря на близость химического состава (см. табл. 1), эта зависимость у стекол из разных месторождений весьма различна. Прежде всего необходимо отметить пониженные значения вязкости обсидианов (кривые 3, 4 на фиг. 1), особенно серого обсидиана Акункского месторождения. Это плохо согласуется с данными о лучшей вспучиваемости арагацского перлита (Каменецкий, 1963) по сравнению с другими разновидностями. Имеются в виду относительно мелкие зерна (3—5 мм) и довольно низкие температуры (1223—1373°K) при небольших выдержках.

Известно (Каменецкий, 1963; Наседкин, 1963), что вулканические водосодержащие стекла перлитовой структуры обезвоживаются (теряют летучие компоненты) при медленном нагреве при 873°K. Несоответствие вязкости перлитов и температур вспучивания, по-видимому, можно объяснить легкостью удаления летучих компонентов из стекол с перлитовой структурой. Скорость нагрева при определении вязкости (10 град/мин) составляет лишь  $1/200$  часть скорости нагрева при вспучивании перлитов (1273°K в течение 30 сек). Естественно предполагать, что в момент измерения вязкости перлитов в среде воздуха при скорости нагрева 10 град/мин они становятся «сухими». Действительно, образцы перлитов после определения вязкости в среде воздуха не вспучивались при скоростном нагреве в печи типа ШП-1.

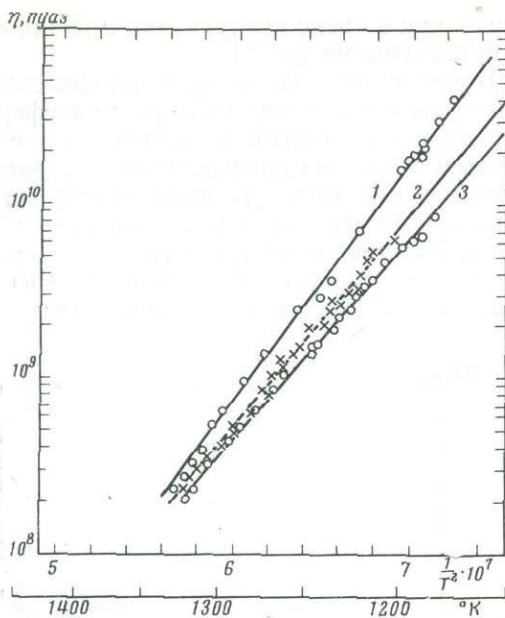
Обсидианы содержат малое количество растворенной воды (см. табл. 1). Вследствие того, что обсидиановая вода прочно связана и трудно удаляется при нагреве, в момент определения вязкости в среде воздуха обсидианы оказываются более водными по сравнению с перлитами: их вязкость при 1273°K примерно в 2—6 раз меньше вязкости перлитов.

Большой вязкостью «сухого» перлита, по-видимому, можно объяснить отсутствие прилипания гранул перлита к футеровке печи в момент вспучивания. Обратное явление, наблюдаемое у обсидианов в сочетании с неравномерностью вспучивания, затрудняет разработку технологии производства легковесных материалов из обсидианов. Относительно слабое вспучивание перлита из Закарпатья можно объяснить повышенным значением его вязкости по сравнению с арагацским перлитом, хотя обе разновидности относятся к кайнозойским образованиям. Необходимо отметить, что абсолютные значения вязкости в температурном интервале вспучивания в среде воздуха не выходят за преде-



Фиг. 2. Изобары вязкости акункского обсидиана

1 — атмосферное давление; 2 — давление водяного пара 6,5 ат; 3 — давление водяного пара 11,0 ат



Фиг. 3. Изобары вязкости араганского обсидиана

1—давление атмосферное; 2—давление водяного пара 6,5 ат; 3—давление водяного пара 16,0 ат

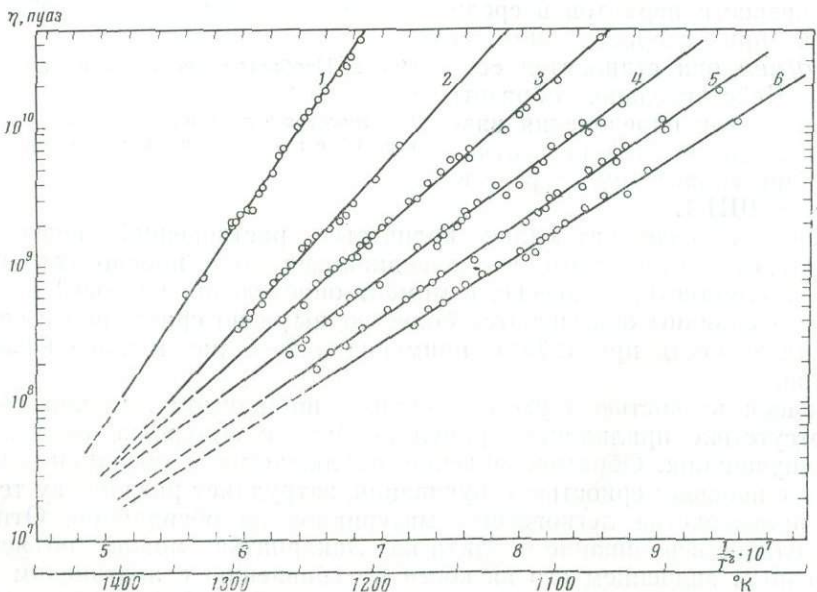
водной среде) подтверждает трудную удаляемость летучих компонентов из обсидианов, а также, вероятно, малую скорость диффузии водяных паров в обсидиан.

Аналогично ведет себя черная разновидность арагацского обсидиана (фиг. 3). Для того чтобы разница в вязкости (между значениями при атмосферном давлении и в среде паров) была существенной, понадо-

лы  $10^8$ — $10^{10}$  пуаз. Эти данные, в общем, подтверждают представления, существующие в литературе (Леонтьева, 1940; Волярович, Леонтьева, 1937; Явиц, 1962).

На фиг. 2 приведены результаты определения вязкости серого обсидиана Акунского месторождения под давлением водяных паров. Для сравнения здесь приведены также результаты измерения вязкости в среде воздуха (кривая 1, фиг. 2). Вязкость акунского обсидиана при абсолютном давлении пара до 6,5 ат мало отличается от таковой в среде воздуха. Разность в значениях вязкости оказалась меньше ошибки опыта. Поэтому в последующих опытах давление паров воды соответствовало несколько большей величине, около 11 ат.

Небольшое различие в значениях вязкости (определения в атмосферных условиях и в



Фиг. 4. Изобары вязкости арагацского перлита

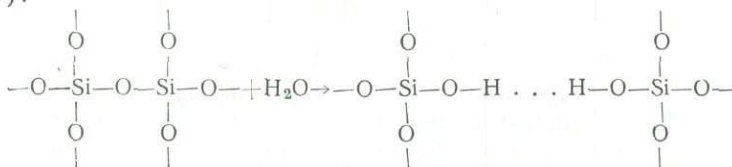
1—давление атмосферное; 2—давление водяного пара 1 ат; 3—давление 3,3 ат; 4—давление 6,5 ат; 5—давление 11,0 ат; 6—давление 16,0 ат

билось повышение давления водяных паров в приборе до 16 ат (кривая 2).

На фиг. 4 приведены результаты определения вязкости арагацкого перлита. Из графика следует, что при создании паровой среды и температуре 1273° К вязкость снижается примерно в пять раз по сравнению с вязкостью при атмосферных условиях. Такая большая чувствительность арагацкого перлита к воздействию водяных паров позволила провести исследование при различных давлениях. Вязкость арагацкого перлита определена при пяти значениях давления водяного пара: 1; 3,3; 6,5; 11 и 16 ат. Это позволило вывести уравнение зависимости вязкости арагацкого перлита от давления водяных паров.

С повышением давления водяных паров снижается количество воды, выделяющейся из перлита, и при температурах определения вязкости удается удержать в нем большее количество водяных паров.

Сохранение водяных паров в вулканическом стекле под действием давления газовой среды сопровождается химической реакцией, в результате которой разрушаются валентные связи между тетраэдрами SiO<sub>4</sub> и возникают ионные связи. Жесткая связь между соответствующими структурными элементами нарушается и заменяется неустойчивой, так называемой простой (немостиковой) водородной связью (Scholze, 1959):



Возрастание числа неустойчивых ионных звеньев в трехмерном кремнекислородном каркасе сопровождается ослаблением стабильности всего каркаса в целом. Этим и обусловлено снижение значений вязкости под давлением водяных паров.

С возрастанием в перлите числа неустойчивых ионных связей при увеличении давления паровой среды, по-видимому, связана лучшая способность перлитов к вспучиванию при более низких температурах в условиях баротермальной обработки перлитов (Еворенко, 1966).

Из графика также видно, что при температуре 1000° С и давлении 11—16 ат значение вязкости арагацкого перлита составляет 8·10<sup>7</sup>—10<sup>8</sup> пуаз, т. е. в 50—40 раз ниже значения вязкости при определении в среде воздуха. При более низких температурах, например при 1223° К, наблюдается снижение вязкости в 100 раз.

Интересно, что при одинаковых давлениях паровой среды значения вязкости арагацкого перлита при температурах вспучивания 1223—1323° К становятся примерно в 9—170 раз ниже вязкости обсидианов. Это уже хорошо согласуется с лучшей вспучиваемостью арагацкого перлита. При резком нагревании водяные пары не успевают полностью улетучиваться из перлита. Как видно из графика зависимости вязкости от температуры (см. фиг. 4), значения последней сильно снижаются, благодаря чему размягченный при сравнительно низких температурах перлит вспучивается.

Автором было проверено, насколько формулы (2), (3) применимы для вулканических стекол:

$$\lg \eta = A + \frac{B'}{T}; \quad (2)$$

$$\lg \eta = A' + \frac{B'}{T^2}, \quad (3)$$

где  $A$ ,  $B$  — постоянные, зависящие от природы материала.

Таблица 3

Константы изобарических уравнений зависимости вязкости стекла от температуры опыта

Среда печи	Абсолютное давление газовой среды, кг/см <sup>2</sup>	$\lg \eta = A + \frac{B'}{T}$			$\lg \eta = A' + \frac{B''}{T^2}$		
		A	B' · 10 <sup>3</sup>	n, %	A'	B'' · 10 <sup>6</sup>	n, %
Перлит арагацкий							
Воздух	1,0	-9,6404	24,521	0,45	0,1348	15,362	0,44
Водяные пары	1,0	-5,4907	17,838	0,40	1,9197	11,182	0,38
То же	3,3	-3,5120	15,304	0,63	3,0387	8,9144	0,61
»	6,5	-1,8160	12,813	0,35	3,7511	7,3558	0,33
»	11,0	-1,908	12,569	0,29	3,6727	7,0508	0,28
»	16,0	0,9198	9,0513	0,39	4,0116	6,3376	0,39
Перлит закарпатский							
Воздух	1,0	-11,985	30,125	0,55	-1,3056	21,211	0,53
Водяные пары	1,01	-11,516	28,372	0,57	-0,9827	19,083	0,55
То же	3,3	-10,965	27,148	0,61	-0,4833	17,569	0,59
Обсидиан арагацкий							
Воздух	1,0	-7,3700	20,982	0,46	1,4537	12,460	0,42
Водяные пары	6,5	-6,1731	19,250	0,29	1,4948	12,074	0,27
То же	16,0	-5,7499	18,612	0,22	1,8924	11,329	0,21
Обсидиан акунский							
Воздух	1,0	-7,2381	20,397	0,48	1,2531	12,240	0,15
Водяные пары	6,5	-5,3133	17,644	0,36	1,9229	10,749	0,34
То же	11,0	-3,0213	14,733	0,42	3,7472	8,7873	0,40

n—среднеарифметическое отклонение опытных данных значения логарифма вязкости от расчетных.

Формулы (2) и (3) содержат только две постоянные и могут быть достаточно просто решены графически. На основании обширных экспериментальных материалов показано, что уравнение (3) для силикатных стекол в интервале вязкости от  $10^7$  до  $10^{15}$  пуаз хорошо согласуется с опытными данными.

Исходя из вышесказанного, для построения графиков температурной зависимости вязкости вулканических водосодержащих стекол в интервале размягчения нами было применено уравнение (3).

Определения постоянных в формулах (2), (3) по экспериментальным данным измерений вязкости производились расчетом по способу наименьших квадратов на электронно-вычислительной полупроводниковой машине «Раздан-2» в Вычислительном центре АН АрмССР в Ереване.

Сравнение расчетных значений логарифмов вязкости и опытных показывает (табл. 3), что наибольшие среднеарифметические отклонения не превышают 1%. В графиках (фиг. 1—5) температурной зависимости вязкости сплошные линии выражают размещение расчетных данных, а точки — данные измерения.

Из фиг. 5 видно, что вязкость закарпатского перлита в среде водяных паров изменяется подобно арагацкому. Повышение давления во-

дяного пара до 3,3 ат снижает вязкость более чем на порядок. Исследования при более высоких давлениях для закарпатского перлита не проводились. Приведенные на фиг. 5 данные также подтверждают предположение, что давление внешней газовой среды способствует сохранению летучих в материале вплоть до высоких температур.

Вычисленные значения вязкости перлита под давлением водяных паров перлита (способ средних величин; Батунер, Позин, 1963) определили вид уравнения зависимости вязкости от давления для арагацкого перлита при изометрических условиях. Изотермические значения вязкости при давлениях водяных паров 1,01, 3,3, 6,5, 11 и 16 ат рассчитывались по формуле (4).

Уравнение зависимости вязкого арагацкого перлита от давления водяных паров среды имеет экспоненциальный вид

$$\eta = 10^{a+b \lg P + c \lg 2P} \quad (4)$$

или

$$\lg \eta = a + b \lg P + c \lg 2P, \quad (5)$$

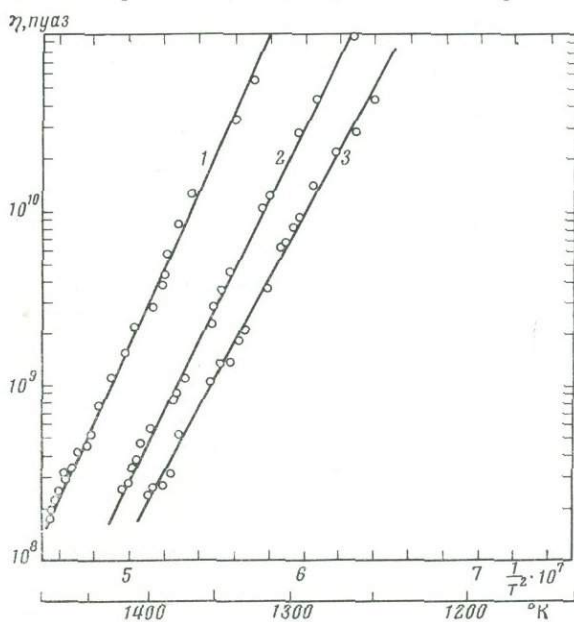
где  $\eta$  — кажущаяся вязкость, пуазы;  $P$  — абсолютное давление паровой среды, кг/см<sup>2</sup>;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  — постоянные, зависящие от температуры.

Значения постоянных уравнения (5) в зависимости от температуры приведены в табл. 4. Из рассмотрения этих данных следует, что уравнение (5) хорошо выражает зависимость вязкости от давления паровой среды. Среднеарифметические отклонения расчетных значений от опытных не превышают 1%.

Представлялось интересным привести график зависимости вязкости от давления паровой среды для температур, охватывающих весь интервал вспучивания арагацкого перлита. На фиг. 6 приведены изотермы вязкости для температур 1173, 1273 и 1373° К.

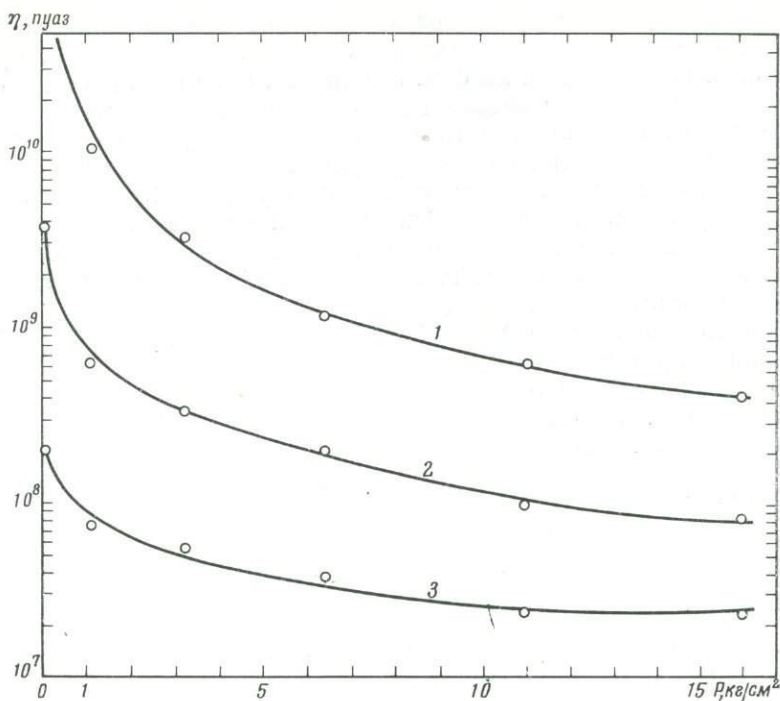
Из кривых изотерм вязкости видно, что при снижении давления водяных паров от 5—6 до 0,1—0,2 ат вязкость резко, примерно на один порядок, повышается. Этим и можно объяснить тот факт, что при скоростном нагреве после вспучивания при достаточно высоких температурах перлит сохраняет свою пористую структуру, не прилипая к футеровке печи; слипания гранул также не происходит.

При увеличении давления водяных паров за счет повышения температуры до 1273° К вязкость снижается в семь раз. Отсюда очевидна польза создания паровой среды при вспучивании перлитов. Паровая среда, кроме снижения вязкости или температуры вспучивания, улучшает качество получаемой продукции, так как механический удар от термического расширения содержащейся в перлите воды уменьшится.



Фиг. 5. Изобары вязкости перлита, гора Шарок, Закарпатье

1 — давление атмосферное; 2 — давление водяного пара 1 ат; 3 — давление водяного пара 3,3 ат



Фиг. 6. Изотермы вязкости арагацкого перлита  
 1 — 1173° К; 2 — 1273° К; 3 — 1373° К

По-видимому, для перлитов, требующих предварительной термоподготовки, создание паровой среды уменьшит необходимость удаления «избыточной» воды. Во всяком случае, количество «избыточной» воды должно быть гораздо меньше, чем при вспучивании в окислительной атмосфере печной среды.

Таблица 4

Константы изотермических уравнений зависимости вязкости от давления водяных паров для арагацкого перлита

Температура, °К	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Среднеарифметическое отклонение опытных значений логарифмов вязкости от расчетных, %
1073	11,642	-1,613	-0,138	0,2
1173	10,051	-0,974	-0,200	0,3
1253	9,044	-0,489	-0,310	0,3
1273	8,824	-0,374	-0,342	0,3
1373	7,853	+0,087	-0,442	0,4
1423	7,441	+0,287	-0,493	0,5

При повышении давления газовой среды выше 9—11 ат влияние давления на снижение вязкости становится все меньшим, и при баротермальном способе обработки перлитов (Еворенко, 1966), по-видимому, неэкономично будет применение давления свыше 9—11 ат.



## ВЫВОДЫ

1. Разработана новая методика исследования кажущейся вязкости вулканических водосодержащих стекол в среде водяных паров при повышенных давлениях.

2. Исследовано изменение вязкости четырех разновидностей вулканических стекол из трех месторождений в среде воздуха и под давлением водяных паров. Установлено, что а) вязкость арагацкого перлита в среде воздуха выше вязкости обсидианов. Это противоречит данным о лучшей вспучиваемости перлита при более низких температурах по сравнению с обсидианом; б) при повышении давления водяных паров вязкость арагацкого перлита становится примерно на два порядка меньше вязкости обсидианов. Таким образом, перлит при вспучивании, по-видимому, удерживает большее количество воды, нежели обсидиан.

3. При внешнем давлении водяных паров вода остается в перлите и при высоких температурах разрыхляет структурный каркас вулканического стекла, тем самым снижая его вязкость.

4. Расчетным путем по способу наименьших квадратов проверена применимость двух известных эмпирических уравнений зависимости вязкости от температуры промышленных стекол к экспериментальным данным, характеризующим вулканические стекла. Изменение значения вязкости вулканических стекол от температуры подчиняется экспоненциальному закону. Достаточно точно и удобна для практического применения формула Евстропьева:

$$\eta = Al^{-\frac{b}{T^2}}$$

5. Выведено эмпирическое уравнение зависимости вязкости арагацкого перлита от давления водяных паров. Эта зависимость имеет экспоненциальный характер:

$$\eta = 10^{a+b \lg P + c \lg 2P},$$

причем при давлении выше 3—5 ат влияние давления на вязкость уменьшается:

$$\lg \eta = a + b \lg P + c \lg 2P.$$

6. При вспучивании перлитов создание паровой среды может способствовать снижению температуры вспучивания и влиять на улучшение качества продукции.

7. Разработанная методика исследования вязкости под давлением, по-видимому, применима и для других силикатных материалов при исследованиях влияния газовой среды на вязкость.

Всесоюзный  
научно-исследовательский институт  
строительных материалов и конструкций

## О ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ШЛАКОВ

В основу статьи положены материалы, полученные автором в 1961—1965 гг. при изучении месторождений вулканических шлаков, расположенных в Арагацской, Гегамской и Ахалкалакской вулканических областях Армянской ССР.

Вулканические шлаки — это пористые породы, образовавшиеся в процессе эксплозивного вулканизма плиоцен-четвертичного возраста. Они образуют постройки моногенных вулканов, именуемых шлаковыми конусами. Кроме шлаков в строении конусов участвуют лавовые продукты и агглютинаты. Пирокластические обломки (вулканические шлаки) составляют от 65—70 до 95% общего объема вулканического материала конусов; содержание лавовых пород не превышает 10—20%, остальное количество составляет агглютинат. Обломки шлаков диаметром 40 мм и выше составляют 0—83%, лапилли 9—81%, пески 3—83% общего объема пород, слагающих конус. Рыхлый пирокластический материал шлаковых конусов может иметь первичное и вторичное залегания. Пирокластический материал первичного залегания обычно претерпевает одно осаждение после выброса. Для этих отложений характерны лавовые продукты и агглютинаты. Переотложенные шлаки образуются в результате переотложения первичных шлаков.

Петрографически шлаки делятся на базальтовые (50—52%  $\text{SiO}_2$ ), андезито-базальтовые (52—57%  $\text{SiO}_2$ ) и андезитовые (57—60%  $\text{SiO}_2$ ). Для изученных шлаков характерно повышенное содержание щелочей.

Минералогически шлаки состоят из фенокристаллов оливина (до 8%), пироксена (до 5%), плагиоклаза (до 7%) и основной массы, состоящей из микролитов и стекла (содержание стекла составляет от 40—50 до 90—95% объема основной массы). Структура основной массы для шлаков базальтового и андезито-базальтового составов преимущественно гиалопилитовая, андезитового — витрофировая. По своим текстурным особенностям шлаки подразделяются на крупно-, средне- и мелкопористые (табл. а). Существуют также промежуточные разновидности. В зависимости от состава меняется характер пористости.

В шлаковых конусах, состоящих из разновидностей, близких к базальтам, наблюдается преимущественное распространение обломков со слабо развитой пузыристой (шлаковой) текстурой. Значительное распространение имеют также обломки мелкопористой (мелко-среднепористой) текстуры. Среднепористые разновидности встречаются значительно реже. Обломки крупнопористой (средне-крупнопористой) текстуры довольно редки. Весьма редко встречаются разновидности с волокнистым строением пор.

Для шлаковых конусов андезито-базальтового состава характерный признак — преимущественное развитие обломков крупнопористой (средне-крупнопористой) текстуры. Большое распространение имеют обломки шлаковой и среднепористой текстуры. Обломки мелкопористой (мелко-среднепористой) текстуры количественно значительно уступают обломкам среднепористой текстуры. Пористые разновидности с волокнистым строением перегородок имеют незначительное распространение.

В шлаковых конусах андезитового состава отмечаются весьма распространенные обломки волокнистого строения. Значительно реже встречаются обломки шлаковой и мелкопористой текстуры. Обломки

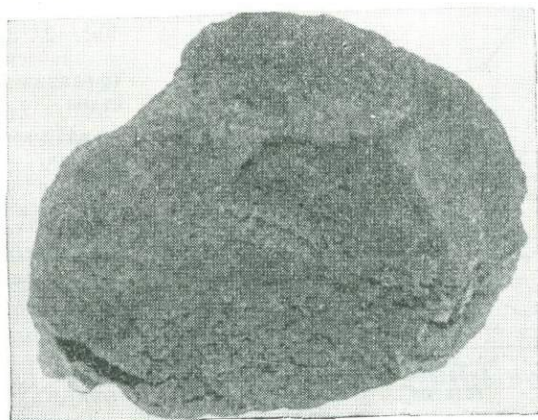
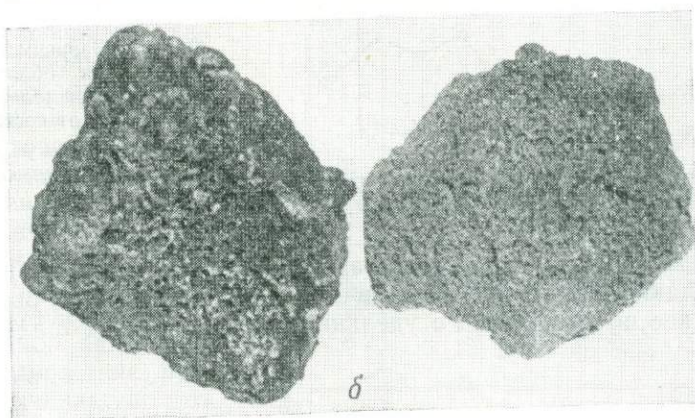
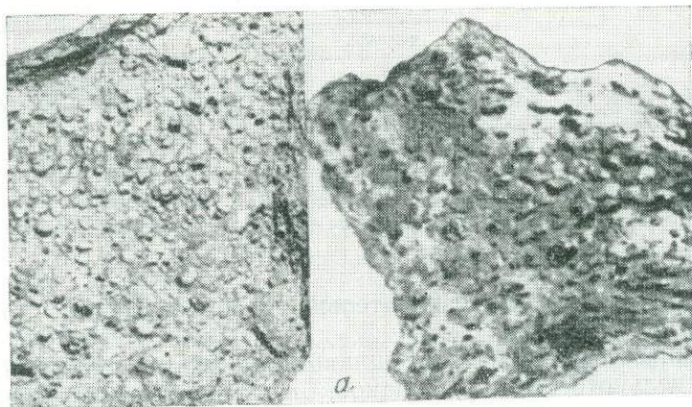


Таблица. Текстуры разновидности шлаков различных месторождений  
*а*—крупнопористая, Аштаракское; *б*—среднепористая, Арнджское и Ошаканское; *в*—мелкопористая, Южно-Кармрашенское

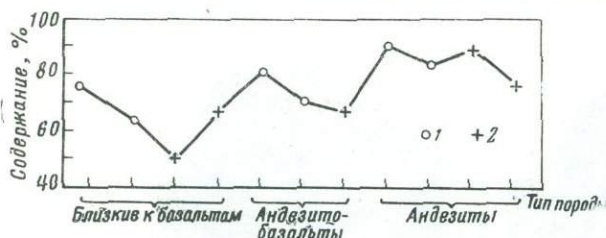
Таблица 1

Характеристика удельного веса (в  $г/см^3$ ) шлаков

Петрографический тип	Первичное залегание				Вторичное залегание			
	черный		красный		черный		красный	
	$г/см^3$	число проб	$г/см^3$	число проб	$г/см^3$	число проб	$г/см^3$	число проб
Близкие к базальтам . . . . .	2,79	2	2,83	10	2,77	3	2,83	3
Андезито-базальтовые . . . . .	2,66	5	2,70	16	2,66	7	—	—
Андезитовые . . . . .	2,56	1	2,68	5	2,60	4	2,54	1

среднепористой текстуры незначительно распространены, крупнопористые почти отсутствуют.

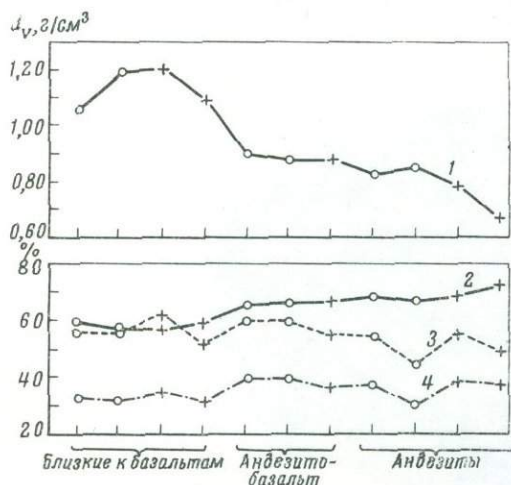
Удельный вес вулканических шлаков приводится в табл. 1. Средние значения удельного веса для шлаков, близких к базальтам, составляют



Фиг. 1. Зависимость среднего содержания обломков (больше 5 мм) на шлаковых месторождениях от состава

1 — проба шлака из первичных залежей; 2 — переотложженный шлак

2,77—2,83  $г/см^3$ , андезитового состава — 2,54—2,68  $г/см^3$ . Как видно из табл. 1, шлаки черного цвета первичного залегания имеют более низкий удельный вес по сравнению с удельным весом красных шлаков.



Фиг. 2. Зависимость физико-механических свойств шлака (фракция больше 5 мм) от состава

1 — объемного веса; 2 — общей пористости; 3 — свободного водопоглощения после 2 суток; 4 — свободного водопоглощения после 12 суток

Остальные условные знаки те же, что и на фиг. 1

Сравнительно высокими значениями удельного веса характеризуются также шлаки верхних частей конусов. Достаточно хорошая корреляционная связь обнаруживается между удельным весом и содержанием FeO. С увеличением содержания железа значение удельного веса увеличивается.

Средние значения насыпного объемного веса (табл. 2) шлаков в естественном состоянии (430—839  $кг/м^3$ ), фракционированных шлаков с диаметром зерен больше 5 мм (377—716  $кг/м^3$ ) и песков (598—913  $кг/м^3$ ) с увеличением кислотности уменьшаются.

Об изменении крупности обломков в зависимости от состава можно судить по графику на фиг. 1. Среднее содержание обломков диаметром больше 5 мм увеличивается от шлаков основного состава (76,3%) к шлакам андезитового состава (89,9%). Аналогичная зависимость характерна для переотложенного материала.

Увеличение в массе обломочного материала гранул диаметром от 5 до 40 мм при переходе от шлаков андезитового состава к шлакам основного состава, очевидно, характеризует большую интенсивность взрывных процессов для шлаков андезитового состава. Среднее содержание песков в первичном залегании увеличивается от шлаков андезитового к шлакам основного состава. И при первичном и при вторичном залегании среднее содержание песков увеличивается от шлаков андезитового к шлакам основного состава.

Объемные веса обломков вулканических шлаков непостоянны. Объемный вес обломков колеблется в широких пределах — от 0,34 до 1,78 г/см<sup>3</sup>. Наименьший объемный вес (0,54—0,90 г/см<sup>3</sup>) имеют крупно-, средне- и мелкопористые разновидности. Объемный вес 0,92—1,08 г/см<sup>3</sup> характерен для шлаков с несовершенной шлаковой текстурой. Объемный вес 0,94—1,50 г/см<sup>3</sup> имеют плотные мелкопористые разновидности, агглютинаты.

Для шлаков, состав которых близок к базаль-

Таблица 2

Насыпной объемный вес (в кг/м<sup>3</sup>) различных вулканических шлаков

Петрографический тип	Кол-во проб	Залегание и цвет шлака	От и до	Средний	Фракция 5 мм и >		Песка		Оъем межзерновых пустот для обломков диаметром > 5 см, %
					от и до	средний	от и до	средний	
Близкие к базальтам	17	Первичное, красный	473—1113	677	442—953	592	636—1417	822	42,3—58,5
	2	» черный	757—921	839	604—829	716	879—948	913	37,0—44,3
	4	Вторичное, красный	610—1022	790	500—719	626	736—1071	888	43,3—51,0
	6	» черный	464—875	716	360—803	618	579—977	861	37,6—51,6
Андезито-базальтовые	23	Первичное, красный	362—813	541	347—707	477	633—1059	767	42,0—51,3
	6	» черный	446—757	548	342—574	448	647—1047	789	46,5—51,6
	11	Вторичное, черный	400—704	584	369—620	473	650—870	770	41,5—52,0
	5	Первичное, красный	416—511	465	375—501	442	603—737	664	45,0—54,3
Андезитовые	2	» черный	384—643	513	344—530	437	531—765	648	48,3—49,0
	5	Вторичное, красный	329—552	430	310—507	405	532—669	606	43,6—54,7
	3	» черный	329—717	471	330—463	377	501—771	598	39,0—48,3

там (фракция  $\geq 5$  мм), характерны колебания объемного веса от 0,74 до 1,43, для андезито-базальтового — от 0,62 до 1,36 и андезитового — от 0,62 до 1,04 г/см<sup>3</sup>. Как видно из фиг. 2, среднее значение объемных весов увеличивается от шлаков андезитового состава (0,67—0,85 г/см<sup>3</sup>) к шлакам основного состава (1,06—1,21 г/см<sup>3</sup>).

Общая пористость вулканических шлаков варьирует от 39,5 до 86,7% (среднее 48,7—74,3%). Общая пористость средне- и мелкопористых разновидностей 70,3—74,3%, шлакоподобных 63,7% и плотных мелкопористых 48,7—56,6%. Средние значения пористости шлаков (фракция  $\geq 5$  мм) с увеличением кислотности возрастают.

Средняя величина свободного водопоглощения шлаков за 1 час колеблется от 10,5 до 44,6%. В течение 1 час обломки успевают поглощать только 62—74% объема воды, поглощенной за 48 час. Среднее водопоглощение после выдержки 48 час составляет 34,5—66,8%.

Сравнительно постоянное водопоглощение характерно для разновидностей крупно-, средне- и средне-мелкопористой текстуры, а также агглютинатов. Указанные разновидности имеют высокое водопоглощение — от 63,2 до 69,6%.

На основании данных по принудительному водопоглощению (кипячение в течение 4 час) выделено три группы шлаков. К 1-й группе (величина заполнения более 90%) относятся обломки крупнопористой, средне-крупнопористой текстуры и агглютинаты, ко 2-й группе (величина заполнения 80—90%) — среднепористой, средне-мелкопористой, мелкопористой, к 3-й группе (заполнение  $< 80\%$ ) — обломки волокнистой текстуры. Объем пор, оставшихся незаполненными после 4 час кипячения, колеблется от 1,5 до 15,6% и увеличивается от 1-й к 3-й группе.

Зависимость величины водопоглощения от времени характеризуется следующими цифрами. После 1 час свободного водопоглощения коэффициент насыщения составляет 0,28—0,47, после 48 час — 0,51—0,63, после 45 суток — 0,51—0,76. После выдержки в течение 45 суток наибольшее водопоглощение характерно для разновидностей, обладающих средне-, крупнопористой, волокнистой текстурами, и агглютинатов.

С увеличением общей пористости у шлаков обнаруживается тенденция к уменьшению степени заполнения пор; объем пор, не заполненных водой, увеличивается. Высокое значение объема пор, не заполненных водой, зависит также от размера обломков. Изучение особенностей свободного водопоглощения после 12 суток (фракция  $> 5$  мм) показало, что объем порового пространства, заполненного водой, составляет 32—41%. При этом объем пор, оставшийся незаполненным, увеличивается от базальтовых шлаков к андезитовым. Следовательно, увеличение общей пористости в указанном направлении не приводит к увеличению водопоглощения. Коэффициент вариации среднего заполнения пор для базальтовых шлаков выше (21,7—32,6%), чем для шлаков андезито-базальтового и андезитового составов (8,4—22,4%).

Вулканические шлаки характеризуются весьма непостоянной прочностью и при сжатии образцов цилиндрической формы (6,4—160 кг/см<sup>2</sup>), причем объемный вес изменяется соответственно от 0,35 до 1,23 г/см<sup>3</sup>. Как показали испытания, резкое увеличение прочности при сжатии отмечается для образцов, объемный вес которых больше 1 г/см<sup>3</sup>. Прочность при сжатии цилиндрических образцов с объемным весом 0,6 г/см<sup>3</sup> колеблется в узком интервале. Характерно, что в отдельных частных случаях при одинаковых объемных весах образцов, но с различными текстурными признаками обнаруживается большой предел колебания прочности. Установлено также, что водопоглощение не имеет резкого влияния на прочность шлаков (табл. 3).

Прочность при сжатии образцов неправильной формы в естественном состоянии также весьма непостоянна. Испытания образцов прово-

Таблица 3

Зависимость водопоглощения и прочности при сжатии образцов шлака цилиндрической формы

Состояние	Количество образцов	Объемный вес, г/см <sup>3</sup>		Прочность, кг/см <sup>2</sup>	
		от и до	среднее	от и до	среднее
В сухом виде . . . . .	40	0,35—1,23	0,709	6,4—160	53,08
После насыщения водой . . .	12	0,37—0,92	0,58	7,0—90,5	33,13

дильсь по методике, предложенной М. М. Протодяконовым (1957) и Л. И. Бароном (1963).

Изучение показало, что при одинаковых размерах обломков прочность при сжатии увеличивается в зависимости от их текстуры. Наиболее низкими значениями прочности обладают образцы с волокнистой, несколько большими — с крупнопористой, еще большими — со средне- и мелкопористой текстурами. С увеличением размеров обломков прочность шлака уменьшается и особенно резко, начиная с образцов диаметра 3,5 см.

Таблица 4

Морозостойкость вулканических шлаков

Петрографический тип	Текстура	Сумма частных остатков на ситах 10, 20, 40 мм, г		Вес после замораживания по отношению к весу исходного шлака, %
		до замораживания	после замораживания (20 циклов)	
Близкие к базальтам	Шлаковая, пористая	1737	1688	97,1
То же	То же	1663	1649	99,1
Андезито-базальтовые	Мелко-среднепористая	1290	1268	98,3
То же	То же	1259	1244	98,8
»	»	1064	1057	99,3
»	Мелко-среднепористая и шлаковая	1022	1010	98,8
Андезитовые	Мелкопористая	1342	1338	99,7
»	Волокнисто-пористая	950	950	100
»	Мелко-среднепористая и волокнисто-пористая	1012	1009	99,6

Прочность на сжатие вулканических шлаков (фракция 10—30 мм) зависит от объемного веса фракции и объема межзерновых пустот. При высоком объеме межзерновых пустот (от 50% и выше) влияние значения объемного веса на прочность не проявляется в достаточной степени. При низких значениях объема межзерновых пустот (менее 50%) прочность будет зависеть в значительной степени от объемного веса: его высокое значение (выше 1 г/см<sup>3</sup>) определяет высокую прочность и наоборот.

Испытание на морозостойкость вулканических шлаков (фракция 5—40 мм) показало, что порода хорошо выдерживает 20 циклов попеременного замораживания и оттаивания. Суммарная потеря в весе составляет до 2,9% (табл. 4). Морозостойкость шлаков, среди которых преобладают обломки шлаковой текстуры, значительно ниже.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы. Шлаки, состав которых близок к базальтам и андезито-базальтам, харак-

теризуются высоким объемным весом, высокой прочностью при сжатии, низкой пористостью, для них преобладают шлаковые и мелкопористые текстуры. Таким образом, бетоны на основе шлаков базальтового состава характеризуются высоким объемным весом и высокой прочностью. Преобладание в шлаках андезито-базальтового состава обломков крупнопористой и среднепористой текстур является причиной понижения прочности шлаков. Бетон на основе таких шлаков будет иметь по отношению к бетону на шлаках основного состава сравнительно небольшой объемный вес и пониженную прочность.

Если в шлаках андезитового состава совместно присутствуют обломки волокнисто-пористой и мелкопористой текстур, то это приводит к большим колебаниям прочности шлаков и величине водопоглощения. Для бетонов на шлаках андезитового состава характерны малый объемный вес и низкая прочность.

Армянское геологическое управление

■

И. Н. ЯВИЦ

### **О НЕКОТОРЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В ОБЛАСТИ ФИЗИКО-ХИМИИ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ВОДОСОДЕРЖАЩИХ СТЕКОЛ**

Материалы настоящего совещания с несомненностью подтвердили важное значение исследований вязкости вулканических водосодержащих стекол для выяснения их генезиса и особенностей технологического процесса. В самое последнее время появились работы, посвященные практическому применению перлитов в таких важных областях, как производству ситаллов и фарфора. Известно, в частности, что для получения ситаллов необходимы аномально высокие значения вязкости, а для получения глазурей для фарфора — сочетание повышенной вязкости перлита при пониженной его огнеупорности.

Однако работ по экспериментальному определению вязкости перлитов публикуется как в Советском Союзе, так и за рубежом крайне мало, поэтому актуальность проведения таких работ несомненна.

Во ВНИИСТРОМ для определения вязкости перлитов в интервале размягчения и вспучивания был применен прибор системы ОРГРЭС для определения вязкости огнеупоров и шлаков в пиропластическом состоянии методом кручения цилиндрического образца. Эта методика подробно описана в литературе, поэтому отметим лишь основные изменения, внесенные в нее и обусловленные специфическими свойствами перлитов.

Вместо криптоловой печи применена электрическая печь сопротивления с проволочным нагревателем для опытов с повышенными скоростями нагревания. Силитовая печь позволяет проводить опыты при относительно низких скоростях нагревания.

Новая система держателей и удлинение образцов с 10—15 до 30 мм позволили повысить чувствительность прибора и увеличить точность определений.

Исследование вязкости перлитов ряда месторождений показало, что вязкость всех исследованных (хорошо и плохо вспучивающихся) стекол — перлитов, обсидианов и витрофиров — изменяется в температур-



ном интервале вспучивания примерно в 1000 раз ( $10^{10}$ — $10^7$  *пуаз*), однако величина температурного коэффициента вязкости у различных стекол различна.

На совещании был поставлен вопрос о важности правильного определения температуры плавления перлитов. Действительно, этот вопрос имеет особенно большое практическое значение. Как известно, температура плавления как таковая у стекол отсутствует, она характеризуется так называемой верхней температурой кристаллизации или соответствующей точкой на кривой ликвидуса. Эта температура экспериментально до настоящего времени не определялась, во всяком случае, в литературе таких данных по перлитам нет.

Поэтому представлялось целесообразным изучение плавкости перлитов на нагревательном микроскопе системы «Лейц». Исследование показало, что эта температура лежит примерно на  $100^\circ$  С ниже, чем это указано в литературе на основании общих соображений.

В заключение отметим важность изучения ряда физико-механических свойств перлитов — модуля сдвига, упругого последействия и некоторых других свойств при высоких температурах, что имеет значение для разработки общей теории поризации силикатных масс при термической обработке.

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
строительных материалов и конструкций

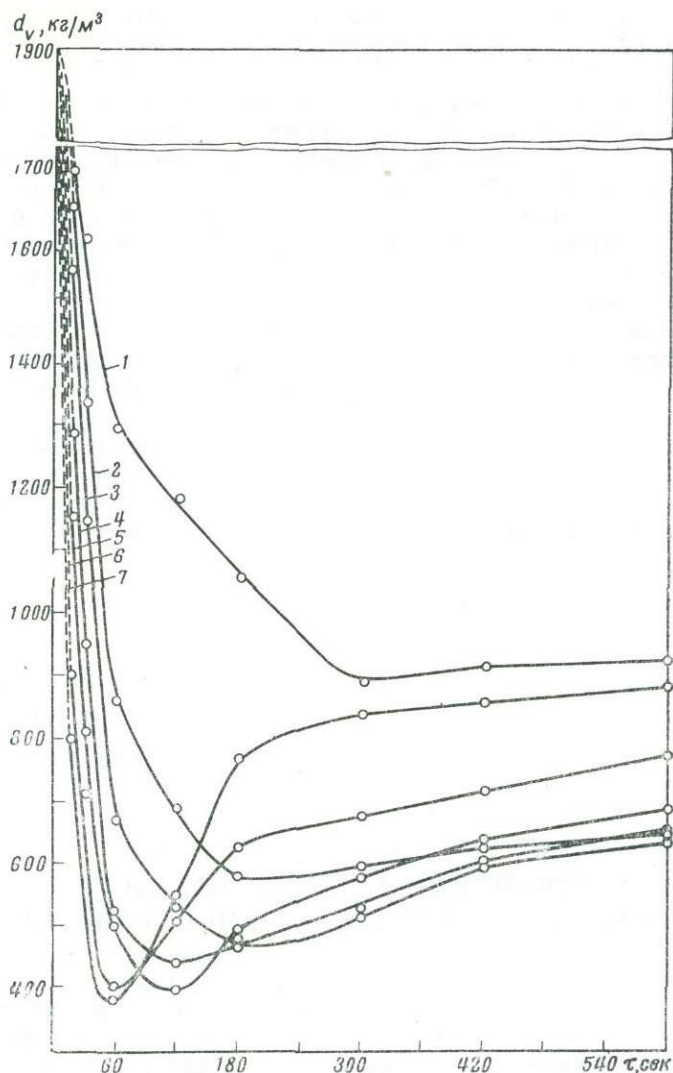
Г. Г. АКОПЯН

### МЕХАНИЗМ ИЗМЕНЕНИЯ СВОЙСТВ ПЕРЛИТА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ РЕЖИМА ТЕРМООБРАБОТКИ

Вспученный перлит все более широко применим в различных отраслях промышленности. Естественно, что материал с одинаковыми свойствами не может эффективно применяться в различных отраслях производства, так как каждая из них предъявляет к вспученному продукту свои строго определенные требования.

Например, вспученный перлит с наименьшим объемным весом может с успехом применяться для теплоизоляции, но он малоэффективен при изготовлении строительных растворов и бетонов, так как непрочен, хрупок, имеет большое количество открытых пор и трещин, большое водопоглощение, при перемешивании бетона крошится и при этом изменяется зерновой состав смеси. Если свойства вспученного перлита постоянны, то при производстве бетонов разных марок необходимо изменять количество раствора, что влечет за собой неоправданный расход цемента и как следствие, увеличение объемного веса материала.

В связи с этим следует сделать вывод, что получение вспученных заполнителей с заранее заданными свойствами является актуальной задачей технологии производства вспученных перлитов. Под оптимальными условиями вспучивания надо подразумевать не только режим, обеспечивающий максимальное вспучивание материала, но и любой режим, позволяющий получать вспученный продукт с теми или иными заданными свойствами. Эта возможность — важное преимущество вспученного перлита по сравнению с природными пористыми материалами.



Фиг. 1. Зависимость объемного веса перлита в куске от времени выдержки в печи (фракция 7—10 мм)

1 — при 900°; 2 — при 940°; 3 — при 980°; 4 — при 1020°; 5 — при 1060°; 6 — при 1100°; 7 — при 1150°

В настоящей работе сделана попытка выявить механизм изменения свойств перлита в процессе термообработки и закономерности, определяющие выбор режима термообработки, необходимого для получения материалов с заданными свойствами. Исследования в этой области начаты нами несколько лет назад; в этой работе приводится обобщение полученных результатов, а также и некоторые новые данные.

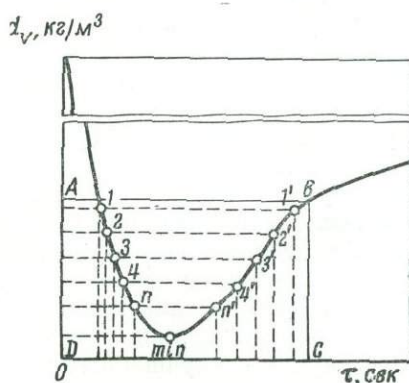
На фиг. 1 приведена кривая динамики вспучивания перлита Арагацского месторождения (фракция 7—10 мм), показывающая связь между объемным весом перлита и временем выдержки его в печи при разных температурах. Минимальный объемный вес перлит приобретает в температурном интервале от 940 до 1150°С при интервале времени от 45 до 180 сек. Если время выдержки увеличивается, то объемный вес перлита вначале интенсивно нарастает, а далее это увеличение происходит постепенно.

Рост объемного веса вспученного перлита объясняется тем, что вязкость зерен при длительной выдержке снижается, перегородки пор, не выдерживая давления газообразной фазы, разрываются, а поры сливаются. Часть паровоздушной смеси выделяется из стекла, из-за чего уменьшается объем гранул и, следовательно, увеличивается их объемный вес. В результате этого процесса получается относительно плотная стекломасса с большим объемным весом<sup>1</sup>.

Резкое возрастание объемного веса после достижения минимума вызвано, очевидно, разрушением вначале крупных пор. Последующее постепенное возрастание объемного веса связано с изменением мелких пор. Приведенные данные совпадают с полученными ранее в широком диапазоне экспозиций (Акопян, 1964а, б; Акопян, Стадник, 1962).

Фиг. 2. Обобщенный вид кривой динамики вспучивания

1 и 1', 2 и 2', 3 и 3', 4 и 4' точки, определяемые при одинаковом объемном весе и при разных выдержках



Каждая кривая имеет параболическую форму с точкой минимума, которая делит кривую на две ветви: левую и правую. На фиг. 2 приведен обобщенный вид кривой динамики вспучивания перлитов, исследование которой выявило важную особенность технологии вспучивания перлитов, а именно перлиты, вспученные при разных режимах, имеют одинаковые объемные веса, но совершенно различные свойства (прочность, водопоглощение и т. д.). Это видно при рассмотрении попарно расположенных точек на двух ветвях кривой динамики вспучивания, которые имеют одинаковые ординаты и разные абсциссы (фиг. 2).

Одинаковые ординаты означают, что образцы, соответствующие этим точкам, имеют равный объемный вес, а соответствующие им разные значения абсциссы указывают на разницу в выдержке при данной температуре термообработки. Руководствуясь значениями на кривых динамики вспучивания, нами были подобраны образцы с практически одинаковыми объемными весами, но вспученные при разных выдержках, которые подверглись испытанию для определения их прочности и водопоглощения (Акопян, 1964). Результаты испытаний показали, что перлиты, вспученные при разных режимах термообработки, соответствующих точкам на левой ветви кривой (до точки минимума), характеризуются значительным количеством открытых пор и трещин, большим водопоглощением и малой прочностью. Образцы, соответствующие точкам, находящимся на правой ветви кривой, имеют в основном закрытые поры, значительно меньшее водопоглощение и сравнительно большую прочность. Кроме выдержки разница в свойствах зависит также от температуры термообработки. С возрастанием температуры она увеличивается.

Таким образом, перлиты, вспученные при разных режимах термообработки, могут иметь практически одинаковый объемный вес, но совер-

<sup>1</sup> Ранее аналогичные результаты были получены В. В. Наседкиным для обсидиана (Наседкин, Явиц, 1962).

шенно разные физико-технические свойства (водопоглощение, прочность и т. д.). Поэтому при выборе режимов термообработки для получения продукции с заданными свойствами нельзя исходить только из объемного веса, необходимо учитывать и другие особенности материала. Увеличение объемного веса перлита по сравнению с его минимальным значением на левой ветви кривой происходит за счет недовспучивания перлитового сырья, на правой — в результате оплавления поверхности зерен и уменьшения их объема. Разные типы промышленных агрегатов для вспучивания перлитов имеют неодинаковые возможности осуществления указанных различий в режиме термообработки.

Применение наиболее распространенных в СССР шахтных печей дает возможность регулировать свойства перлитового песка в соответствии с левой ветвью кривой динамики вспучивания. Увеличение объемного веса материала здесь происходит за счет недовспучивания материала. Эта возможность осуществляется из-за снижения температуры термообработки в результате изменения режима подачи топлива или сырья. Время пребывания сырья в печи ограничено 2—7 сек. А это не дает возможности получить материал с оплавленной поверхности гранул. Увеличение же температуры термообработки на 70—100°С не приводит к оплавлению гранул, так как материал вспучивается во взвешенном состоянии и после вспучивания быстро уносится отходящими газами в циклон. При усовершенствовании конструкций шахтных печей следует обратить внимание на возможность *управления* аэродинамическими и другими параметрами режима вспучивания с тем, чтобы увеличить диапазон изменения выдержки сырья в печи. Это позволит производить вспученный перлит с улучшенными физико-техническими характеристиками (повышенной прочностью, низким водопоглощением, низким коэффициентом теплопроводности и т. д.), т. е. с такими свойствами, которые соответствуют правой ветви кривой динамики вспучивания.

В случае применения для вспучивания вращающейся печи можно практически неограниченно регулировать процесс экспозиции, изменяя число оборотов и угол наклона барабана. Кроме того, можно регулировать и длину высокотемпературной зоны, изменяя режим подачи топлива и воздуха. Для указанных целей наиболее приемлемы вращающиеся установки Научно-исследовательского института строительных материалов (НИИСМИ) и «Теплопроекта», в особенности установка НИИСМИ, снабженная циклонно-вихревой горелкой конструкции этого же института.

Во вращающейся печи были получены промышленные партии вспученного перлита с оплавленной поверхностью гранул (Ацагорцян, Акопян, 1964). Однако следует отметить, что вращающаяся установка имеет и свои недостатки: в ней удается вспучивать только крупный песок и щебень — материал фракции 3—20 мм. Мелкие песковые фракции здесь, как и в шахтной печи, вспучиваются во взвешенном состоянии и быстро уносятся в циклоны, не успевая оплавляться.

Таким образом, можно прийти к заключению, что на современных заводах по производству вспученного перлита целесообразно иметь оба типа печей. Это позволит производить легкий заполнитель с улучшенными физико-техническими свойствами, регулируемые в заданном направлении, что намного расширит область применения перлитов в народном хозяйстве.

Научно-исследовательский институт  
камня и силикатов (г. Ереван)

## ВЛИЯНИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ВСПУЧИВАЕМОСТЬ НЕКОТОРЫХ РАЗНОВИДНОСТЕЙ ПЕРЛИТОВЫХ ПОРОД

Научно-исследовательский институт строительных материалов и изделий (НИИСМИ) в течение ряда лет работает в области технологии производства пористых заполнителей из перлитовых пород. Исследования процесса вспучивания перлитов Закарпатья и других месторождений Советского Союза, а также Болгарии и Венгрии показали, что перлиты вспучиваются без применения предварительной термической обработки. Предварительная термообработка применяется в технологическом процессе производства вспученного перлита для удаления из породы части «избыточной» воды, в результате чего уменьшается растрескивание частиц при обжиге и улучшается качество вспученного продукта.

Известны перлитовые породы примерно с равным содержанием воды, однако при обжиге в одинаковых условиях одни из них вспучиваются без предварительной термической обработки, для вспучивания других необходима предварительная термообработка (фракция > 0,5 мм). Для выяснения влияния предварительной термообработки на вспучивание некоторых перлитовых пород были проведены исследования образцов из трех проб: 1 — с горы Чепка (Закарпатье), 2 и 3 — из месторождения Болгарии. Химический состав этих перлитов представлен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав (в вес. %) перлитовых пород

Компонент	1	2	3	Компонент	1	2	3
SiO <sub>2</sub> . . .	73,83	71,80	71,70	MgO . . .	0,00	0,37	0,30
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	14,22	13,82	13,45	SO <sub>3</sub> . . .	0,00	0,03	0,00
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . .	1,43	1,48	0,80	K <sub>2</sub> O . . .	3,27		
TiO <sub>2</sub> . . .	Следы	0,05	0,06	Na <sub>2</sub> O . . .	2,55	7,77	7,82
CaO . . .	1,48	0,47	0,70	П.л.п. . .	3,54	4,32	4,40
				Сумма . .	100,32	100,11	100,23

1—гора Чепка; 2 и 3—Болгария. Химические анализы выполнены в аналитической лаборатории НИИСМИ.

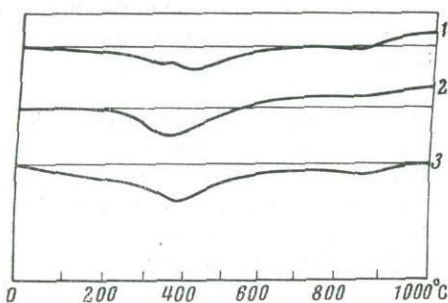
Перлит горы Чепка (Закарпатье) обладает перлитовой текстурой и хорошо вспучивается без предварительной термообработки, аналогичными свойствами обладают перлиты пробы 2 (Болгария). Перлит пробы 3 (Болгария) характеризуется ясно выраженной перлитовой текстурой, однако эффективное вспучивание гранул крупнее 0,5 мм возможно только после предварительного обжига. Вспучивание всех проб производилось на полупромышленной шахтной установке конструкции НИИСМИ.

Сопоставляя данные табл. 1, видим, что пробы 2 и 3 мало отличаются по химическому составу. Проба 3 по сравнению с пробой 2 имеет меньшее содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и большее Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и CaO. Вода присутствует примерно в одинаковых количествах. Тем не менее технологические свойства этих пород различны.

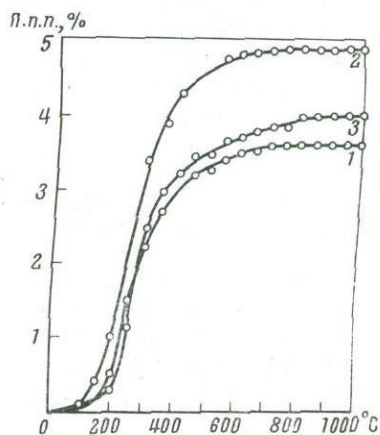
Технологи считают, что для получения вспученного перлита важно, чтобы вулканическая стекловатная порода содержала «растворенную» в стекле воду в количестве 1—1,5%. Этот критерий более важен, нежели

ли наличие перлитовой структуры (Петров, 1955). Технологические свойства разновидностей перлита (плотного, камневидного и обладающего типичной перлитовой текстурой) зависят от особенностей связи воды со стеклом. Установлено, что даже в том случае, когда выделение воды происходит в одинаковых условиях, различные текстурные разновидности перлита вспучиваются по-разному (Уитэйкер, 1956). Вероятно, с подобным явлением мы встретились при рассмотрении проб 2 и 3.

Известно, что при нагревании перлитовой породы вспучивается только стекло, поэтому важно знать физико-химические свойства стекла без каких-либо примесей. Для термических исследований было взято стекло



Фиг. 1. Кривые нагревания перлитов  
1 — месторождение Чепка; 2 и 3 — Болгария



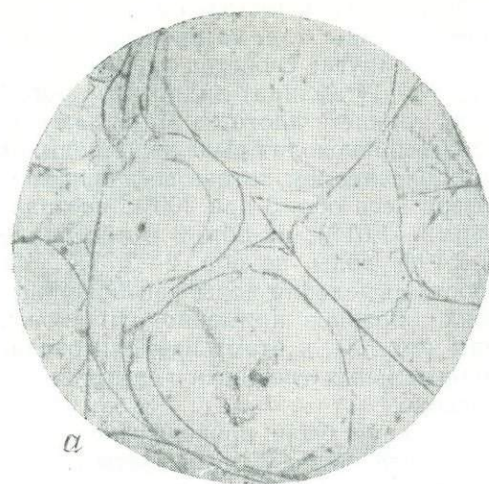
Фиг. 2. Кривые обезвоживания стекла, выделенных из перлитовых пород

Обозначения те же, что и на фиг. 1

(фракция 0,25—0,5 мм), отобранное под бинокулярным микроскопом. Термограммы снимались в лаборатории физико-химических исследований НИИСМИ. Скорость подъема температуры составляла 25 град/мин, навеска исследуемого материала 1 г, в качестве эталона был взят прокаленный при 1100°С глинозем. Определение потерь при прокаливании производилось в муфельной печи в температурном интервале от 100 до 1000°С через каждые 50°. При заданной температуре образец выдерживался до достижения постоянного веса. Дифференциальные термограммы стекол, выделенных из перлитовых пород, приводятся на фиг. 1, кривые обезвоживания — на фиг. 2.

Термограммы перлитовых стекол характеризуются одним четким эндотермическим эффектом в интервале температур от 100 до 600°С с максимумами при температурах от 340 до 400°С и слабо проявленным высокотемпературным эффектом при 800—900°. Наиболее отчетливо высокотемпературный максимум выражен на термограмме 3. На остальных кривых нагревания он проявляется слабо.

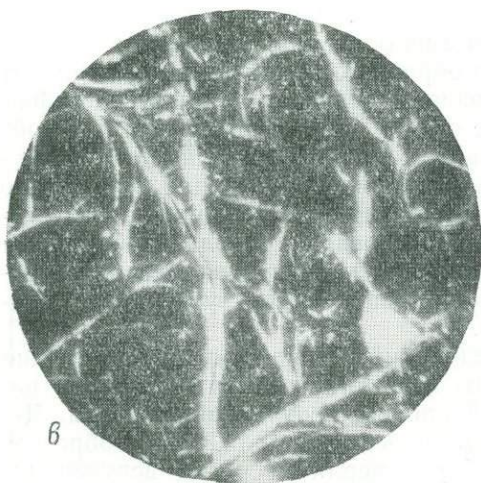
Анализируя данные, приведенные на фиг. 2, видим, что вода выделяется в основном при нагревании до 550°С, выше этой температуры вода выделяется в незначительном количестве (обр. 2—0,15, обр. 1—0,19 и обр. 3—0,33% воды). Наиболее интенсивная отдача воды происходит при температуре до 300—350°С, причем обр. 3 в отличие от других начинает интенсивно отдавать воду только при 250°С. Особенности выделения воды в образцах 3 и 1 аналогичны, однако обр. 1 хорошо вспучивается без применения предварительной термической обработки, 3 — почти не вспучивается. На основании этих данных можно сделать



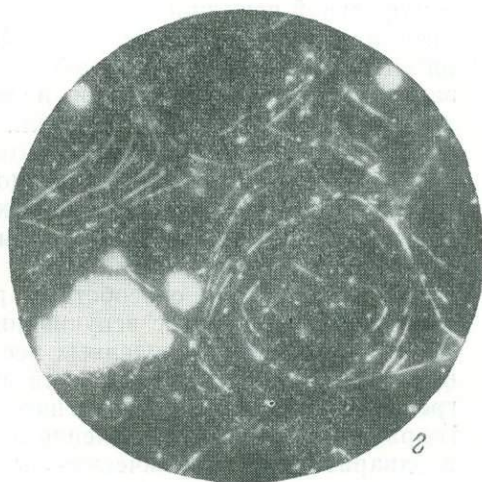
a



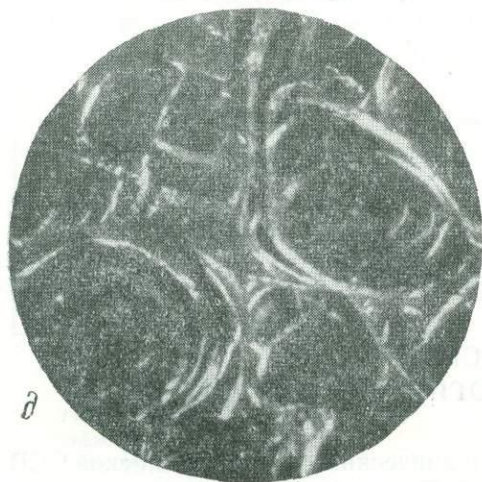
б



в



г



д

Таблица. Микрофотографии шлифов перлитовых пород

а — обр. 3, увел. 50, без анализатора, б — обр. 1, увел. 50, с анализатором; в — обр. 2, увел. 50, с анализатором; г — обр. 3, увел. 50, с анализатором; д — то же после предварительной термообработки

вывод, что для вспучивания перлитовых пород недостаточно только содержания в них определенного количества воды, т. е. на процесс вспучивания, по-видимому, оказывают влияние и другие свойства перлитов.

На микрофотографиях образцов *а, б и в* (таблица) видно, что у обр. 3 трещины перлитовой отдельности очень тонкие и плотные. По-видимому, чем они тоньше и плотнее, тем медленнее происходит выделение воды из стекла. Эти данные подтверждаются определением потерь веса при различных температурах. Например, потери веса обр. 3 при 200°С составили только 0,29%, в то время как обр. 2—1,01%; из обр. 3 в интервале температур 200—300°С выделилось 2,19% воды, из обр. 2—2,37%. Из этого следует, что количество и скорость выделения воды при более высокотемпературном обжиге для обоих образцов примерно одинаковы. По-видимому, микроструктура породы (обр. 3), к этому времени оказалась нарушенной (образование дополнительных трещин и т. д.) и выделение воды происходило более интенсивно.

Для подтверждения этого предположения были проведены следующие исследования. Из одного куска перлита пробы 3 были взяты образцы размером от 3 до 4 см, некоторые из них были подвергнуты нагреву в муфельной печи при 400°С в течение 1,5 час. Они остывали в закрытой печи до комнатной температуры. Затем из образцов, прошедших предварительную термическую обработку, и образцов, не подвергавшихся предварительному нагреву, были изготовлены шлифы. Микрофотографии этих шлифов показаны в табл. *з, д*. На них ясно видно, что образцы, подвергавшиеся предварительной термообработке, имеют структуру, отличную от исходных образцов. Трещины, образующие перлитовую отдельность (после термообработки), расширились. Возможно, что выделение низкотемпературной воды при нагревании перлитовой породы происходит по этим трещинам. В данном случае предварительная термическая обработка способствует расшатыванию структуры стекла и интенсифицирует процесс вспучивания.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы. Особенности выделения воды из вулканических стекол при нагревании влияют на технологический процесс вспучивания породы. Дегидратация вызывает изменение микроструктуры стекла. Таким образом, предварительная термическая обработка перлитов перед вспучиванием необходима не только для удаления так называемой «избыточной» воды, вызывающей растрескивание образца, но и для подготовки соответствующего структурного состояния породы.

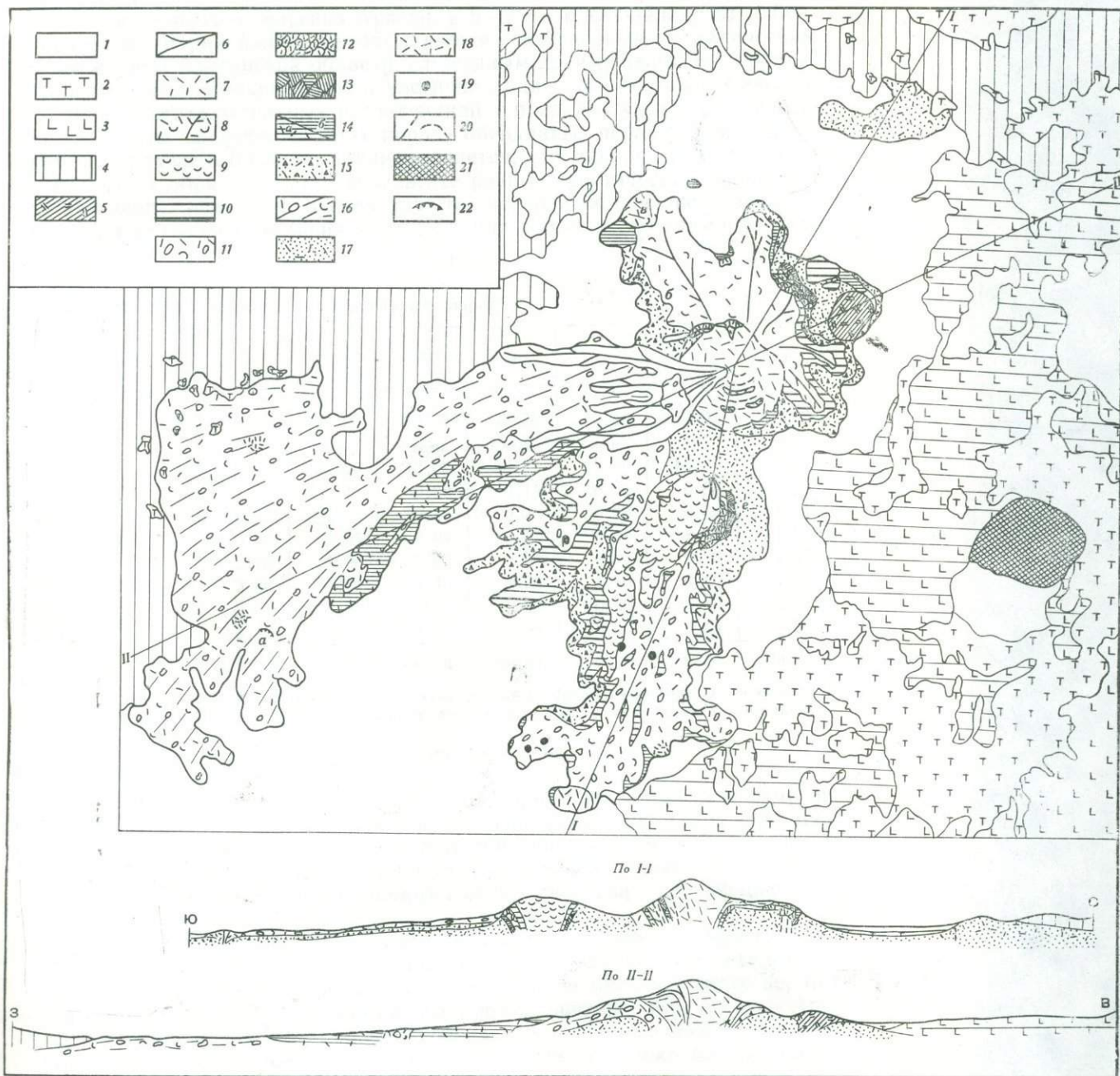
Научно-исследовательский институт  
строительных материалов и изделий (г. Киев)

С. Г. КАРАПЕТЯН, В. Р. ИСРАЕЛЯН, Г. Г. АКОПЯН

### **ВЛИЯНИЕ ГЕНЕЗИСА КИСЛЫХ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ НА ИХ СТРУКТУРУ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Среди месторождений кислых вулканических стекол Армянской ССР Артенийская или Талинская группа месторождений по качеству сырья, запасам и транспортным условиям занимает особое место. В указанную группу входят широко известное Арагацское месторождение перлита, Артенийское месторождение обсидиана и Артенийское месторождение





Фиг. 1. Схематическая геолого-петрографическая карта вулканического массива Артени

1 — элювиально-делювиальные и аллювиальные отложения; 2 — туфы еревано-ленинаканского типа; 3 — андезито-базальты; 4 — андезито-дациты; 5 — липарито-дациты; 6 — верхние липариты; 7 — липариты вершинного купола Хцан; 8, 9 — перлитовые лавы и брекчии; 10 — средние липариты; 11 — перлитовые лавы и брекчии; 12 — экструзивные перлиты; 13 — эруптивные брекчии; 14 — нижние липариты, (а) стекловатые и (б) раскристал-

лизованные; 15 — перлит-обсидиановые туфы, туфобрекчии и брекчии; 16 — перлитопемзовый агломератовый поток; 17 — рыхлые пирокластические продукты; 18 — обсидианы, связанные с разновозрастными излияниями; 19 — небольшие купола и неки; 20 — предполагаемые трещины; 21 — шлаковые конусы; 22 — действующие карьеры; 5—20 — образования комплекса Артени, а, б, ..., жс — местоположение образцов

перлитовых песков. Все три месторождения приурочены к разным участкам вулканического массива Артени (Богутлу), расположенного на юго-западной периферии массива Арагац, в 6—7 км к югу-западу от районного центра Верин Талин. Артени является единственным вулканическим сооружением Арагацской области, сложенным преимущественно продуктами кислого — липаритового и частично дацитового составов (фиг. 1).

В результате детальных исследований в пределах указанного массива выделены следующие типы пород: обсидианы, перлиты, литоидные пемзы, их туфы и брекчии. Устанавливается, что макроскопически сходные породы образовались в результате разных генетических процессов: эффузивного, эффузивно-эксплозивного, eksploзивного и экструзивного. Разные генетические условия формирования пород обусловили и разные

Таблица 1

Химический состав (в вес %) исследованных пород\*

Компонент	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub> . . . . .	73,34	73,58	73,57	73,72	73,45	72,65	70,28
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,40	Следы	Следы	Следы	Следы	Следы	0,80
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	12,80	12,60	13,02	13,27	13,20	13,27	14,97
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	1,40	0,75	0,60	0,75	0,50	0,60	0,75
MgO . . . . .	Следы	Следы	0,28	0,25	0,62	0,41	1,51
CaO . . . . .	0,96	0,85	0,97	0,97	1,00	1,00	0,79
Na <sub>2</sub> O . . . . .	3,70	4,00	3,85	3,95	3,80	3,70	4,50
K <sub>2</sub> O . . . . .	3,86	4,40	4,40	3,95	4,40	4,40	4,80
SO <sub>3</sub> . . . . .	Следы	1,00	0,73	0,50	0,30	0,63	Следы
П.п.п. . . . .	3,70	2,62	3,24	2,19	3,22	4,01	0,96
Сумма . . . . .	99,56	99,50	100,46	99,55	100,19	100,67	99,36

1—перлит и пемза из агломеративного потока; 2—массивный перлит из эффузивного потока; 3—то же (пористая разновидность); 4, 5—перлиты и липариты из трещинных экструзий; 6—пемзавидный перлит eksploзивного типа; 7—экструзивный перлит из купола.

\* Местоположение образцов показано на фиг. 1 (нумерация та же).

структурно-морфологические формы тел, представленные лавовыми и агломератовыми потоками, рыхлыми отложениями, куполами, neckами, трещинными выжимками и т. д. Условия образования пород влияют не только на формы тел, но и на структурно-текстурные особенности, физико-механические и технологические свойства слагающих их пород.

Например, хорошо вспучивающиеся Арагацские перлиты пространственно связаны с агломератовым потоком, образовавшимся в результате эффузивно-эксплозивных процессов; Артенийское месторождение перлитовых песков — с eksploзивными выбросами центров Мец и Покр Артени, а Артенийское месторождение обсидиана — с небольшим экструзивным куполом, расположенным в южной части отрога Покр Артени. Суммарный объем излившихся продуктов Артени при площади, равной около 37 км<sup>2</sup>, составляет примерно 4—4,5 км<sup>3</sup>, из которых стекловатые разновидности составляют более 60% (т. е. 2,4—2,7 км<sup>3</sup>). Из этого количества разведанные запасы стекол по указанным выше трем месторождениям составляют всего 51 млн. м<sup>3</sup>. Оставшиеся неразведанные стекла представлены в основном теми же генетическими типами, что и разведанные, но с некоторым преобладанием эффузивных разновидностей. Для выявления промышленных свойств перлитов и влияния условий и образования перлитов на их структуру и технологические свойства были проведены спе-

циальные исследования. Для исследования были выбраны следующие разновидности: 1 — перлит из пемзового агломератового потока; 2 — массивный перлит из эффузивного потока; 3 — пемзовидный перлит из потока; 4 — липарит экструзивного типа; 5 — пемзовый материал эксплозивных извержений; 6 — экструзивный перлит.

Известно, что лучшими вспучивающимися свойствами обладают стекла липарит-липарит-дацитового состава. Как видно из табл. 1, все опробованные породы относятся к липаритам.

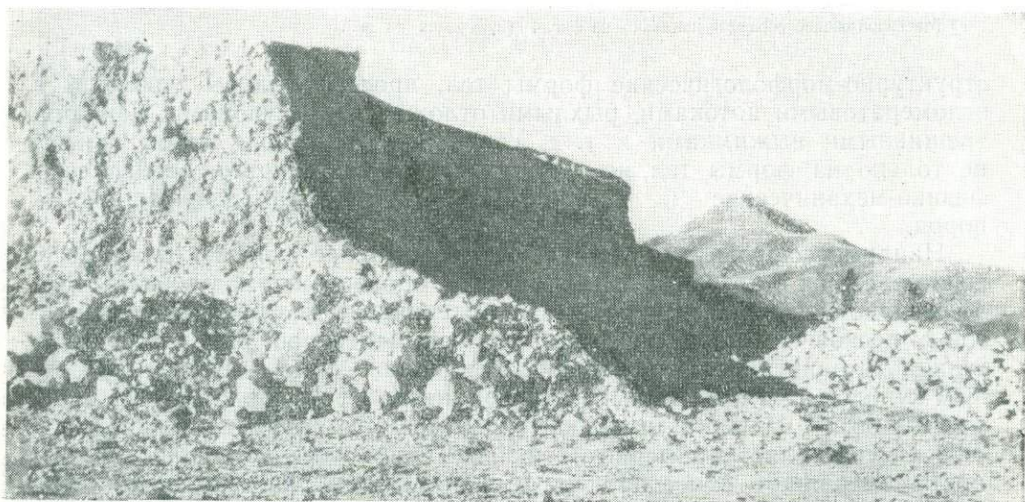
### ПЕТРОГРАФИЧЕСКАЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБРАЗЦОВ<sup>1</sup>

Перлит агломератового потока. Поток начинается на западной привершинной части Мец Артени и, постепенно расширяясь, продолжается в западном и юго-западном направлениях. Длина его 6—8 км, средняя мощность 70—75 м; объем изверженного материала при площади, равной 13,5—14 км<sup>2</sup>, превышает 1 км<sup>3</sup>.

В карьерах (фиг. 2), заданных на потоке, и в других обнажениях видно, что поток состоит из скоплений рыхлого перлит-пемзового агломерата без следов какой-либо стратификации. Преобладают обломки размером более 200 мм. Механизм образования его, как нам кажется, идентичен формированию агломератовых лавин вулканов Мон-Пеле, Мерапи, Суфриер, Авача, Швелуч, Безымянный и др.

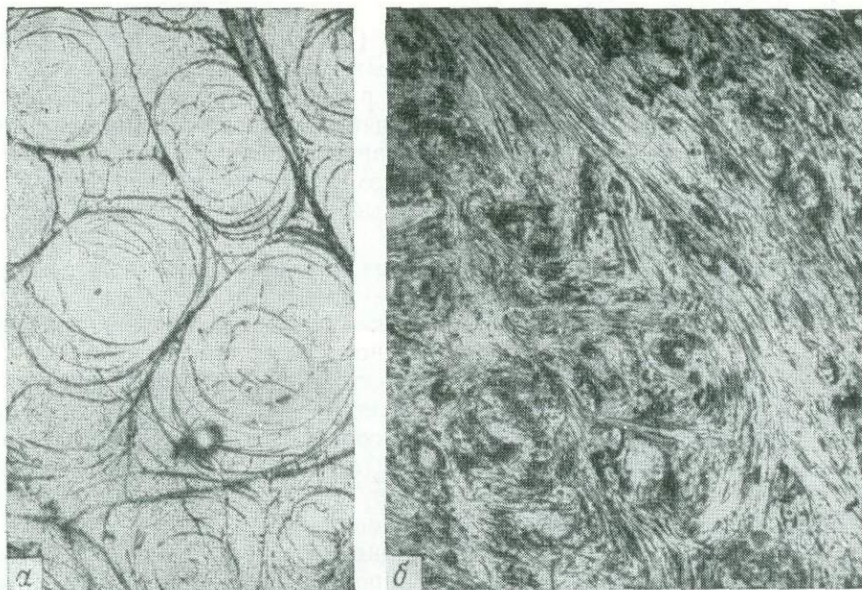
Макроскопически перлиты и пемзы имеют в основном светлые, местами бурые цвета и стекловатый, перламутровый или шелковистый блеск; первые характеризуются хорошо выраженной перлитовой, а вторые — струйчато-волокнистой текстурами. Под микроскопом видно массивное и пемзовидное строение указанных разновидностей (фиг. 3).

В пемзах поры имеют преимущественно продолговатую и скрученную форму.



Фиг. 2. Арагацкий карьер. Видна глыбовая отдельность агломератового потока

<sup>1</sup> Строение и история формирования вулкана Артени детально описаны в статьях К. М. Сагателяна, В. В. Наседкина и С. Г. Карапетяна, опубликованных в данном сборнике.



Фиг. 3. Структурно-текстурные особенности перлитовых пород

*a* — перлитовая отдельность в стекле из агломеративного потока. Увел. 70, без анализатора; *b* — пористый лемзовый перлит из эффузивного перлитово-лемзового потока; увел. 30, без анализатора

На электронномикроскопических снимках видно равномерное распределение пор размером  $0,07 \text{ мк}$ , а также зональное или круговое расположение радиально направленных каналов длиной до  $0,5\text{--}0,7 \text{ мк}$  (табл., *a*).

Технологические испытания, проведенные в лабораторных и заводских условиях, показывают очень хорошую, но несколько различную вспучиваемость отдельных текстурных разновидностей перлитов описываемых

Таблица 2

Сравнительная характеристика физических свойств перлитов разных генетических типов

№ образца	До термообработки					После термообработки				
	объемный вес в куске, $\text{кг/м}^3$	удельный вес, $\text{г/см}^3$	пористость, %	водопоглощение, %	объемный насыпной вес, $\text{кг/м}^3$	в лабораторных условиях				объемный насыпной вес рабочей смеси (фракция $0,3\text{--}5 \text{ мм}$ ), $\text{кг/м}^3$
						температура обжига, град	выдержка в печи, сек	объемный вес, $\text{кг/м}^3$	водопоглощение, %	
1	1652	2,39	30,8	10,8	1045	1000	150	321	66,2	59,8
2	1625	2,39	31,9	10,5	1011	1000	150	343	51,4	55,7
3	1368	2,39	42,8	17,3	851	—	—	317	58,3	46,1
4	1815	2,39	24,0	10,0	1138	1100	150	540	28,2	108,6
5	1798	2,39	24,6	11,0	1003	—	—	538	25,8	91,1
6	1580	2,39	33,7	12,6	1046	1000	150	338	65,3	57,8
7	2018	2,40	16,6	5,4	1156	1100	600	380	18,9	—

1—перлит и лемза агломеративного потока; 2, 3—плотный и пористый перлиты эффузивного потока; 4, 5—стекловатый липарит трещинных экструзий; 6—эксплозивный материал (перлит, лемза); 7—экструзивный перлит.

ваемого потока (табл. 2). Светлые разности в зависимости от структурных особенностей имеют более низкую (на 50—100°) температуру вспучивания, нежели бурые. Для отдельных разностей коэффициент вспучивания достигает 30, но в среднем он равен примерно 15. При одном и том же объемном весе бурые разности более плотны и прочны; они во время вспучивания меньше растрескиваются, дают более или менее компактную массу. Поэтому технологи рекомендуют бурый перлит как сырье для получения песка и щебня, а светлый, ввиду хрупкости, — как сырье для получения вспученного песка.

Перлит эффузивного типа из потоков, сложенных а) массивными породами и б) пористыми или пемзовыми.

а) Лавы, давшие плотные перлиты, изливались из главного центра (купол Хцан — Мец Артени) в восточном, северном и северо-западном направлениях. При излиянии в северо-западном направлении они образовали хорошо выраженный отрог длиной до 1,5 км и шириной 100—150 м; объем изверженного материала составляет около 0,02 км<sup>3</sup>. Перлиты этого потока макроскопически светло-серые, буроватые, с хорошо выраженной перлитовой текстурой. Структура породы стекловатая ( $N = 1,500$ ). Присутствуют редкие вкрапленники олигоклаза и кварца. Основная масса представлена разноокрашенными струйками стекла, определяющими флюидальную текстуру породы, осложненную также перлитовой отдельностью. Заметны овальные и продолговатые поры, количество которых доходит местами до 25—30%. Под электронным микроскопом видно, что большинство продолговатых пор образовалось от слияния более мелких округлых или эллипсоидальных пор (табл., б). Ориентировка поровых скоплений совпадает с направлением течения лавы. Средний размер пор равен 0,07 мк.

б) Пористые, или пемзовидные перлиты образовались в процессе излияния. Они ответвляются от центра и в виде небольших потоков спускаются до самой долины. Макроскопически это пузыристые или пемзовидные породы обычно белесоватых и желтоватых цветов. В непосредственной близости от центра в стекле появляются окисленные красные стекловатые «нити» мощностью 0,2—1 мм. Под микроскопом видны системы ориентированных пор, количество которых достигает 40—45%. Перегородки между порами в виде трубок и нитей огибают редкие минеральные включения или инородные обломки пород.  $N$  стекла 1,428—1,506. В стеклянных нитях видны кристаллиты и точечные выделения рудного минерала; количество минеральных включений в общем не превышает 1—3%.

Четкая ориентировка пор выявляется также под электронным микроскопом (табл., в). Поры имеют вид ориентированных продолговатых полостей или каналов размером до 0,03 мк. После вспучивания из пористого перлита получается материал с таким же объемным весом, как и из плотного (табл. 2), однако со значительно более низкой прочностью и более высоким водопоглощением.

Перлит трещинных экструдий (обр. 4, 5, табл. 1) образует дайкообразные тела протяженностью до 80—100 м (фиг. 4). Они образовались, видимо, в результате выжимания на поверхность небольших порций вязкой лавы. Для настоящей работы опробованы только два тела. Породы, слагающие эти тела, представлены тонкополосчатыми светло-серыми липаритами, отдельные стекловатые прослои которых перлитизированы. Под микроскопом видно чередование микрофельзитовых стекловатых полос обычно с перлитовой отдельностью. Редкие мелкопорфировые выделения представлены олигоклазом и кварцем. В основной массе встречаются небольшое количество микролитов олигоклаза, реже чешуи биотита, роговая обманка и рудный минерал (магнетит); найдены также кварц-полевошпатовые сферолитовые образова-

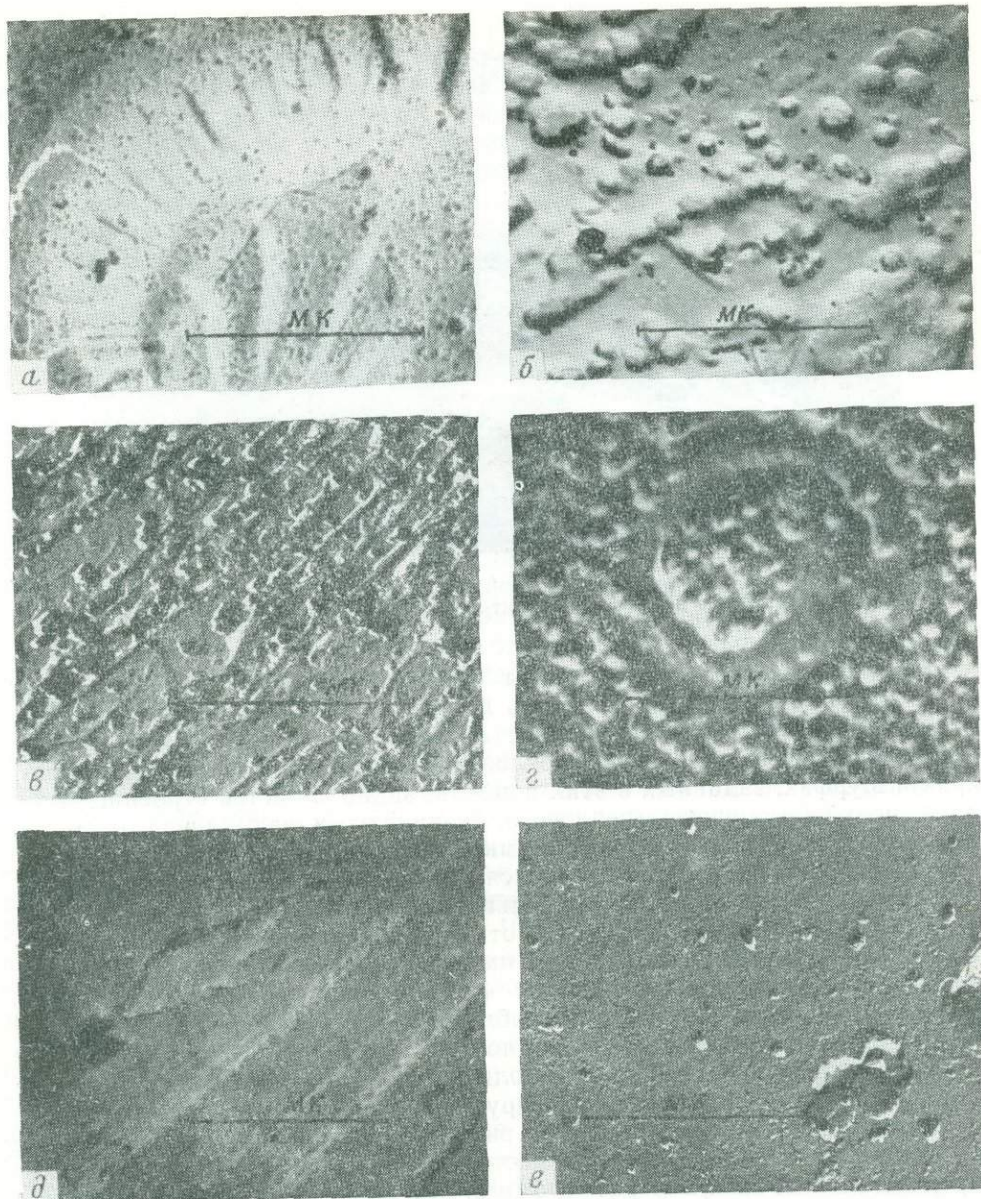


Таблица. Микроструктурные особенности перлитовых пород различных генетических типов на электронномикроскопических снимках

*a* — перлит из агломератного потока; *б* — плотный перлит из эффузивного потока; *в* — пористый перлит из эффузивного потока; *г* — стекловатый липарит из трещинной выжимки (срез, перпендикулярный полосчатости); *д* — то же (продольный срез); *е* — перлит из взрывных отложений

ния. Суммарное количество минеральных выделений редко составляет 10%. На микрофотографиях (табл., *г*, *д*) видно расположение пор в продольном и поперечном сечениях образцов, взятых из указанных экстразий; поры имеют удлиненную или эллипсоидальную формы, средний размер их 0,01 мк. Несмотря на низкий коэффициент вспучивания (табл. 2), данные разновидности могут быть использованы для получения вспученного материала повышенной прочности и с пониженным водопоглощением.



Фиг. 4. Трещинная выжимка липарит-перлитовой породы в северо-западной части Артени

Эксплозивные продукты (вулканический песок, лапилли и т. д., обр. 6, табл. 1) образовались в течение первой фазы извержений Мец и Покр Артени. Артенийское месторождение перлитовых песков приурочено к северо-восточным склонам Покр Артени. В опытных карьерах и шурфах, заданных в этих породах, видно слоистое строение рыхлого, мелкообломочного (пеплового, гравийного и лапиллиевого) материала. Преобладающая часть обломков представлена перлитами и пемзой; сравнительно редко встречаются обсидианы и еще реже липариты. Перлиты и пемзы отличаются большей пористостью, нежели перлиты агломератового потока. В отличие от последних (струйчато-волокнистого строения) эти перлиты и пемзы имеют в общем более пузыристую — губчатую или сотовидную-текстуру с более округлыми, изометричными и овальными порами. Формы обломков округлые, угловато-окатанные. Кристаллические выделения почти отсутствуют. В искусственных шлихах встречаются небольшие количества кварца, плагиоклаза, биотита, пироксена, граната, циркона, рудного минерала.

Под электронным микроскопом видно, что пористость пород меняется в соответствии с микроособенностями. Характерно равномерное распределение точечных пор размерами  $0,001 \text{ мк}$ , среди которых спорадически встречаются более крупные поры размером порядка  $0,07—0,08 \text{ мк}$  (табл., е).

Технологические свойства (табл. 2) указанных пород и пород агломератового потока почти аналогичны. Однако первые обладают несколько меньшей прочностью. Минимальный объемный вес вспученного материала равен  $56 \text{ кг/м}^3$ . На основании работ, проведенных геологами Армянского геологического управления (Карапетян, Богданян, 1963; Мудурия, Оганесян, 1965), указанные породы можно рекомендовать как наполнитель для бетонов и как сырье для получения стеклотары и керамических материалов.

Экструзивные перлиты (обр. 7, табл. 1) залегают на пирокластической толще и в настоящее время слагают мощные карнизы (местами высотой более  $50—70 \text{ м}$ ), выделяющиеся в рельефе на восточных и южных склонах Покр Артени. Перлит макроскопически представлен плотными темно-серыми или черными породами с выступающими

ми на поверхность многочисленными реликтами черного обсидиана. В целом порода представляет «перлит-обсидиановую пару», состоящую из черного обсидиана ( $N=1488 \pm 0,002$ ) и обволакивающих его серых концентрически-скорлуповатых «рубашек» перлита. Структура породы стекловатая, текстура явно выраженная перлитовая. Минеральные выделения очень редки (кварц, плагиоклаз, биотит и рудный минерал).

Описываемые породы опробованы на вспучивание только в лабораторных условиях. После дробления порода распадалась на бесформенные частицы и округлые, эллипсоидальные обсидиановые сфероиды. После вспучивания в камерной печи цемент светлел и набухал; то же происходило и со сфероидами. Вспученный продукт по сравнению со всеми описанными разновидностями имеет относительно большую прочность и низкое водопоглощение.

## ВЫВОДЫ

Как показывают исследования, условия образования пород влияют не только на структурно-текстурные особенности, но и на их физико-механические и технологические качества. Наилучшей вспучиваемостью обладают продукты эффузивного (лавовые потоки), эффузивно-эксплозивного (агломератовые потоки) и взрывного происхождения.

Экструзивные образования из-за относительно большой кристалличности, а также плотности характеризуются менее хорошей вспучиваемостью.

Эффузивные разности по структурно-текстурным особенностям более однородны, нежели агломератовый и взрывной материалы. Последние, однако, отличаются большим коэффициентом вспучивания и, в связи с обломочным строением, лучшими условиями разработки. Экструзивные породы Артени после их выжимания в результате переработки газами и другими эманациями оказались несколько перлитизированы, по аналогии с дайкой перлита и пористого риолита, описанной Уилфли и Тейлором (Wilfeу, Taulog, 1950), и краевой части купола Рокосово (Наседкин, 1963). Вследствие этого, как показали исследования, экструзивные породы обладают вспучиваемостью и могут быть рекомендованы как заполнители для бетонов и растворов.

Учитывая большой спрос на арагацское сырье, выгодные транспортные и экономические условия месторождений, целесообразно провести дополнительные геологоразведочные работы на указанных объектах для уточнения запасов и составления рекомендаций эксплуатации. Добыча перлитов Арагацкого месторождения, как указывали К. М. Сагателян и Б. В. Казарян (1960), может быть расширена за счет северных и северо-восточных флангов месторождения. На основании находящихся в стадии обработки технологических данных, помимо указанных выше объектов, для разведки на перлит, а также обсидианы можно рекомендовать и другие участки: южный шлейфообразный отрог Покр Артени, подножье описанного выше северо-западного отрога Мец Артени и отдельные участки в пределах Арагацкого потока. В процессе геологоразведочных и эксплуатационных работ необходимо учитывать возможность комплексного использования сырья Арагацкого месторождения.

Институт геологических наук АН АрмССР

Научно-исследовательский институт  
камня и силикатов (г. Ереван)



## ВЛИЯНИЕ ТЕКСТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ И ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПЕРЛИТОВ ЭЛИГЕН-БУЛАКСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ МНР НА ИХ ВСПУЧИВАЕМОСТЬ

Общая геологическая характеристика Элиген-Булакского месторождения приведена в статье о перлитах Центральной Монголии, также публикуемой в данном сборнике (В. П. Еремеев, А. А. Крупа, В. В. Наседкин «Перлиты Центральной Монголии»). Из предыдущего описания следует, что месторождение состоит из четырех разновидностей перлитового сырья: витрокластической, массивной и пемзовидной. Наиболее широко распространены две первые разновидности. Витрокластическая залегает в пределах периферической части месторождения: порода является витрокластическим туфом. Массивный перлит преобладает в его центральной части. Среди массивных перлитов встречаются сферолитовые и витрофировые разновидности. Четкая приуроченность пемзовидных пород к определенным участкам месторождения не установлена. Все названные четыре разновидности исследовались на вспучиваемость.

### ПЕТРОГРАФИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ИСХОДНЫХ ОБРАЗЦОВ

Витрокластический туф (табл. I, а, б) — это макроскопически беловато-серая порода, состоящая из сравнительно крупных обломков и тонкообломочной массы. В витрокластической массе и в стекловатой фазе отдельных обломков присутствуют включения кристаллических образований. Тонкообломочная масса частично замещается агрегатом вторичных минералов группы монтмориллонита и цеолитами. Последние также замещают и отдельные более крупные обломки. Количественный подсчет минерального состава (в объемн.%) в шлифе показывает, что порода на 20—25% состоит из кристаллов. Содержание стекла составляет 75—80%.

Стекло образует обломки остроугольной формы размером 0,08—10 мм. Крупные индивиды окружены мелкими. Ориентировка обломков отсутствует. Мелкие обломки имеют характерную серповидную и рогульчатую форму (табл. I, б.). Стекло обломочной фракции неоднородно. Встречаются разновидности массивного и витрофирового строения (табл. I, а, б). Показатель преломления составляет 1,501—1,505. Наибольший показатель у пемзового стекла как наиболее полно гидротированной разновидности. Тонкообломочная масса замещена агрегатом вторичных минералов.

Кристаллические образования представлены двумя типами. К первому типу относятся минералы-вкрапленники: кварц, кали-натровый полевой шпат, плагиоклаз и биотит. Кристаллические фазы второго типа образованы агрегатом минералов группы монтмориллонита, возможно, гидрослюды и цеолитов. Под микроскопом агрегат имеет желтовато-зеленый цвет. Размер отдельных чешуек агрегата 0,003 мм. Состав монтмориллонитов не постоянен ( $n=1,552-1,558$ ). Непостоянство показателя преломления, по-видимому, определяется изменением железистости минералов. Отдельные чешуйки напоминают гидрослюду ( $Ng_1=1,570$ ;  $Np_1=1,540$ ). Из цеолитов в агрегате присутствуют гейландит, морденит и, возможно, клиноптилолит. Цеолиты образуют радиальнолучистые скопления. Химический состав и некоторые свойства перлита приведены в табл. I.

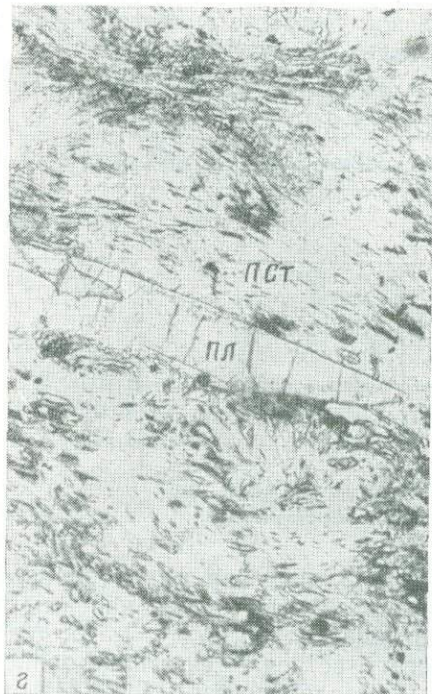
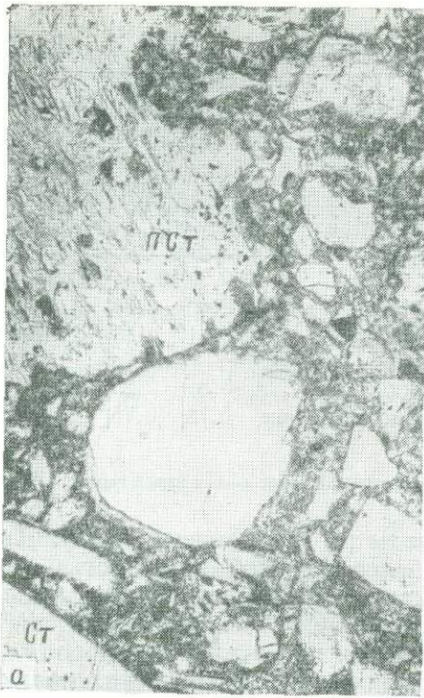


Таблица I. Петрографические типы перлитов Элиген-Булакского месторождения  
 а — витрокластический туф, видны крупные обломки пемзовидного (Пст), массивного стекла (Ст) и тонкообломочное строение основной массы, увел. 30, без анализатора; б — то же; серый фон между обломками — агрегат монтмориллонита, цеолитов, гидрослюды; в — сферолитовый перлит, С — сферолит, К — кристобалит, Ст — стекло, увел. 30, без анализатора; г — пемзовидный перлит. Видны ориентированные щелевидные поры; Пл — плагиоклаз, увел. 70, без анализатора

Таблица 1

Химический состав (вес. %) и физические свойства перлитов

Компонент	1	2	3	4	Компонент	1	2	3	4
SiO <sub>2</sub> . . . . .	74,67	74,43	72,77	74,46	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . . .	Следы	Следы	Следы	Следы
TiO <sub>2</sub> . . . . .	0,41	0,09	0,41	0,41	SO <sub>3</sub> . . . . .	0,00	0,00	0,00	0,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	12,59	12,92	13,01	12,71	П.п.п. . . . .	3,24	3,24	4,88	3,42
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0,90	0,95	1,00	1,00	Сумма . . . . .	100,35	100,44	100,39	100,41
FeO . . . . .	0,18	0,18	0,18	0,18	Удельный вес	2,40	2,38	2,37	2,50
CaO . . . . .	0,79	0,58	1,1	0,69	Объемный вес	2,31	2,33	1,75	2,34
MnO . . . . .	0,00	0,00	0,00	0,00	Истинная пористость . . . . .	3,8	2,2	26,2	6,4
MgO . . . . .	0,07	0,12	0,25	0,05	Водопоглощение	0,72	0,75	0,65	1,0
Na <sub>2</sub> O . . . . .	2,92	2,70	2,38	2,76					
K <sub>2</sub> O . . . . .	4,88	5,05	4,71	5,03					

1—массивный перлит; 2—сферолитовый перлит; 3—витрокластический туф; 4—массивный перлит.

Повышенное содержание в туфе воды по сравнению с другими разновидностями перлита объясняется более высокой пористостью породы и присутствием таких водосодержащих минералов, как монтмориллонит и цеолиты.

Сферолитовые разновидности перлита. Порода состоит из темно-зеленого стекла, вкрапленников и сферических поликристаллических агрегатов (табл. I, в). Суммарное содержание кристаллической фазы составляет 40—45%; из них сферолиты составляют 30%, а остальное— вкрапленники.

Таблица 2

Рентгеновская характеристика сферолитов (Fe-излучение; 2R=57,3)

№ п/п	I	d	Линии	№ п/п	I	d	Линии
1	Слабая . . . . .	6,4603	П*	7	Слабая . . . . .	2,8519	П
2	Очень слабая . . . . .	4,9301	П	8	»	2,7714	П
3	Средняя . . . . .	4,4801	К**	9	Средняя . . . . .	2,4826	П
4	Очень слабая . . . . .	4,0644	К	10	Слабая . . . . .	2,1426	П
5	Средняя . . . . .	3,8196	П	11	»	1,7525	П
6	Слабая . . . . .	3,2305	К	12	»	1,6127	К

\* П—линии полевого шпата;

\*\* К—линии кристобалита.

Кристаллическая фаза (вкрапленники и сферолиты) представлена кварцем, кали-натровым полевым шпатом ( $Nm=1,526$ ), плагиоклазом (олигоклаз № 15;  $Ng_1=1,545$ ;  $Np_1=1,538$ ) и биотитом. Сферолитовые агрегаты встречаются в виде одиночных выделений или образуют групповые скопления (табл. I, в). На основании морфологических признаков сферолиты подразделяются на простые и сложные: простой радиальнолучистой формы, а в сложном присутствует 2 или 3 зоны. На рисунке в табл. I, в, показан зональный сферолит: внутренняя его зона имеет кристобалит-полевошпатовый состав, средняя— кристобалитовый ( $N=1,487\pm 0,002$ ) и внешняя— кристобалит-полевошпатовый. Фазовый состав внешней зоны сферолита представлен на рентгенограмме (табл. 2).

Стекло под микроскопом бесцветное, в пластинке толщиной до 0,5 см зеленое,  $N=1,505 \pm 0,003$ . По всей площади шлифа сравнительно равномерно рассеяны мельчайшие зерна магнетита. Перлит имеет липаритовый состав (см. табл. 1).

Витрофирочный массивный перлит состоит из вкрапленников (15—20% площади шлифа) и стекловатого базиса. Состав вкрапленников аналогичен предыдущему случаю. Сферолиты отсутствуют. Стекло массивное. Показатель преломления  $1,501 \pm 0,001$ . Химический анализ этой разновидности показан в табл. 1 (графа 4). По соотношению главных компонентов массивный перлит идентичен другим разновидностям.

Пемзовидный перлит петрографически близок витрофирочной разновидности. Его отдельные обломки встречаются среди перлитов витрокластического типа. Он состоит из стекла основной массы пемзовой текстуры и вкрапленников (табл. 1, г).

### МЕТОДИКА ВСПУЧИВАНИЯ

Вспучивание перлитов производилось в лабораторном силитовом муфеле. Исследовалась фракция 1,2—2,5 мм. Так как содержание воды в большинстве разновидностей не превышает 3,5%, что, по данным изучения перлитов других месторождений, приближается к оптимальному содержанию, то вспучивание осуществлялось без предварительного обжига и вопрос о влиянии количества воды на вспучиваемость стекол Элиген-Булакского месторождения нами не исследовался. Для

Таблица 3

Зависимость объемного веса перлитов Элиген-Булакского месторождения от времени обжига при 1100°С

Порода	Время, сек							
	3	5	6	7	10	20	60	120
Перлит								
сферолитовый(1)* . . . . .	0,65	0,50	0,32	0,27	—	0,27	0,26	0,24
массивный витрофирочный(2)* . . . . .	0,76	0,60	—	0,54	0,33	0,25	0,26	0,26
Туф витрокластический . . . . .	0,47	0,28	—	0,22	0,23	0,23	0,21	0,23

\* Сферолиты, которые составляют до 20% объема шлифа, в процессе дробления пород отделялись от стекловатой фазы. Таким образом, содержание кристаллов в пробах 1 и 2 идентично.

выявления наиболее благоприятной температуры вспучивания обжиг осуществлялся при следующем режиме: 700, 800, 850, 900, 950, 1000, 1050, 1100, 1150°С. Время соответственно изменялось в следующей последовательности: 120, 60, 35, 30, 25, 10, 5 сек. В результате проведенных исследований удалось установить, что наиболее высокий коэффициент вспучивания в лабораторной печи может быть получен при температурах 1050—1100°. В качестве рабочей принята температура 1100°С.

Результаты вспучивания главных разновидностей перлита при этой температуре приведены в табл. 3. Характерно, что витрокластический туф достигает минимального объемного веса при значительно меньших выдержках, нежели две другие разновидности перлита.

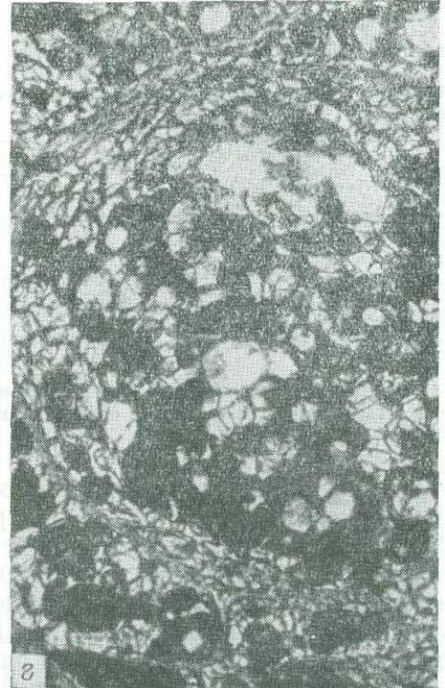
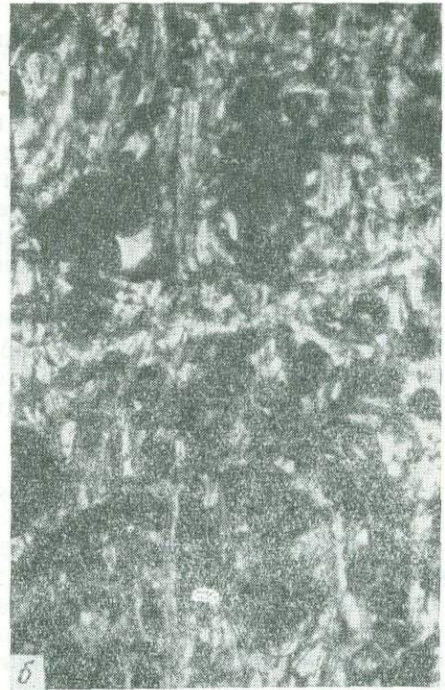


Таблица II. Вспученный витрокластический туф

а, б, в — вспученный пемзовидный перлит; г — массивный перлит; а — начальная стадия вспучивания; удлиненные трубчатые поры (показаны стрелкой) ориентированы параллельно первичной флюидальности пемзовидного стекла:  $T=700^{\circ}$ , время — 2 мин, увел. 150, без анализатора; б — локализация мелких пор в перегородках между ранее существовавшими крупными порами;  $T=800^{\circ}$ , время 60 сек, увел. 150, без анализатора; в — характер распределения пор в полностью вспученном стекле,  $T=1150^{\circ}$ ; время 5 сек; г — вспученное массивное стекло, видна приуроченность пор к трещинам перлитовой отдельности, увел. 70, без анализатора

## ПЕТРОГРАФИЯ ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТА

Витрокластический туф весьма неоднороден по составу. Он состоит из обломков массивного, пемзовидного стекла и измененной (цеолитово-гидрослюдисто-монтмориллонитовой) цементирующей массы. Кроме того, в породе присутствуют в виде вкрапленников кристаллические включения (кварц, кали-натровый полевой шпат, плагиоклаз, биотит). При температуре  $700^{\circ}\text{C}$  (начало вспучивания) поризации подвергаются главным образом пемзовидные обломки и цеолиты в

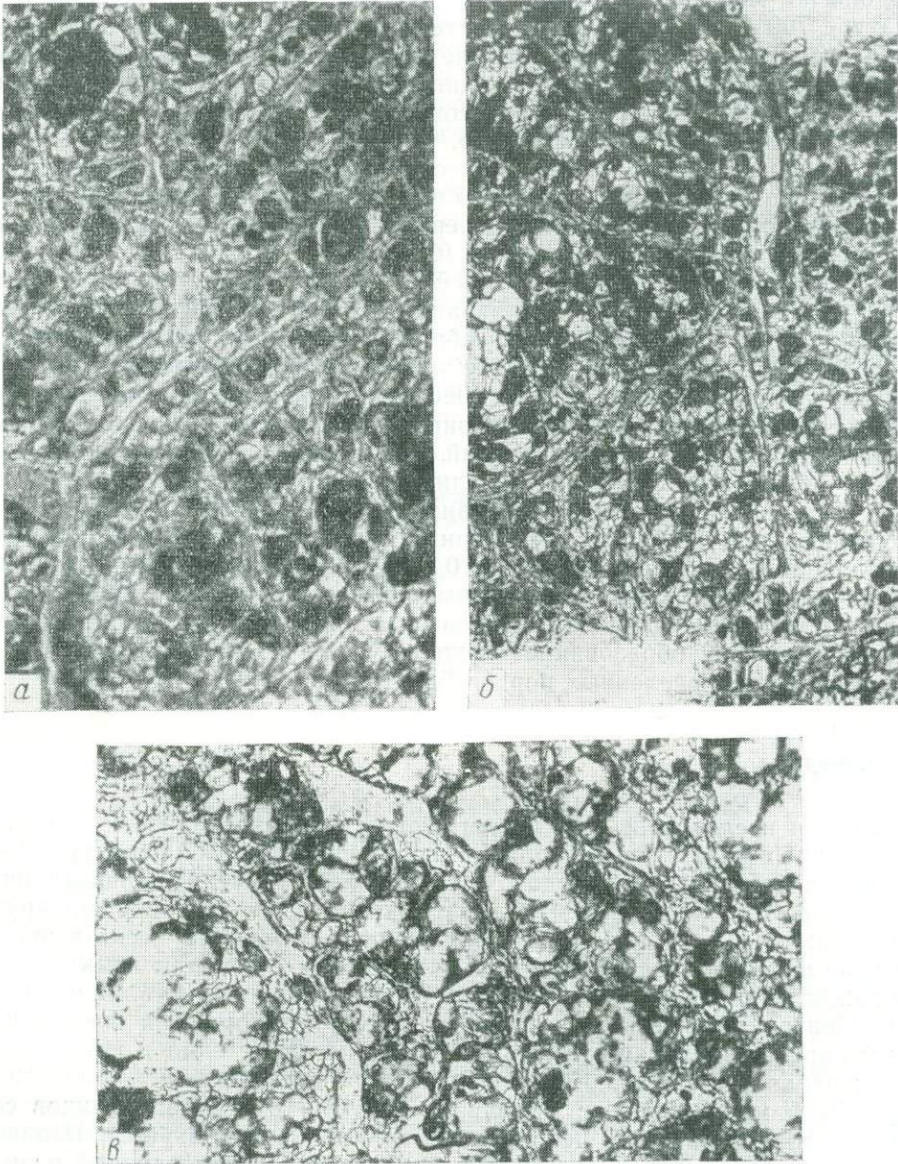


Таблица III. Различные стадии вспучивания массивного перлита

*a* — начальная стадия вспучивания ( $T=700^{\circ}$ , время 2 сек); поры ориентированы параллельно трещинам, увел. 150, без анализатора; *б* — группировка пор в ячейках, ограниченных трещинами ( $t=800^{\circ}$ , время 60 сек); *в* — сравнительно равномерное распределение пор после укрупнения ( $t=1050^{\circ}$ , время 10 сек); увел. 150, без анализатора

тонкообломочной массе. Характерно, что вновь образующиеся поры в начальный момент вспучивания ориентируются параллельно текстурным элементам, присущим данной разновидности. В частности, они приобретают трубчатую форму и вытягиваются параллельно флюидальности (табл. II, а). Для частичного вспучивания при столь низкой температуре потребовалась выдержка около 2 мин. Ориентировка пор сохраняется и при 800° С (выдержка 60 сек) (табл. II, б). При температуре 1100—1150° С (выдержка 5—10 сек) поры распределяются равномерно и влияние первичных текстурных особенностей на их морфологию и положение в значительной степени утрачивается (табл. II, в, г).

Обломки массивного стекла начинают вспучиваться также при температуре 700° С. Однако при этой температуре вспучивание протекает менее интенсивно. Возникают мелкие поры (0,01—0,08 мм), ориентированные параллельно круговым трещинкам перлитовой текстуры. Так же как и в предыдущем случае, при высоких температурах они укрупняются и образуют весьма однородный узор.

Измененная тонкообломочная масса вспучивается только частично. Вспучиванию подвергаются агрегаты цеолитов и, возможно, гидрослюды. Монтмориллонит при высокой температуре спекается и вызывает увеличение объемного веса вспученного материала.

Витрофировый массивный перлит. При достаточно длительной выдержке (2 мин) вспучивание начинается при 700° С. В начальную стадию порообразования образуются мелкие поры размером в сотые доли миллиметра. Положение зародышевых пор зависит от ориентировки и направления системы трещин, присутствующих в исходном образце. В частности, поры концентрируются вдоль круговых перлитовых трещин, а также других направлений (табл. III, а). Существование трещин до обжига подтверждается наличием в их полостях монтмориллонитов. В дальнейшем порообразование приводит к перегруппировке и укрупнению пор (табл. III, б). При температуре 1050—1100° С возникают крупные поры диаметром до 0,3—0,5 мм. Они состоят из более мелких пор, разделенных тончайшими перегородками толщиной в тысячные и десятитысячные доли миллиметра. Разрыв волосовидных перегородок вызывает образование крупных (0,1—0,8 мм), сравнительно равномерно распределенных пор (табл. III, в).

## ВЫВОДЫ

1. Нами исследованы три петрографические разновидности перлита. Две из них (сферолитовый перлит и перлит витрофировой структуры) — массивная стекловатая порода, содержащая до 15—40% кристаллической фазы. Так как сферолиты и вкрапленники имеют довольно крупные размеры (0,1—4 мм), то при получении вспученного песка в шахтной печи из материала фракции 0,5—1,5 мм эти кристаллы практически не окажут влияния на объемный вес полученного продукта. В отличие от них витрокластический туф имеет весьма неоднородный состав, который определяется качественными особенностями стекла и кристаллических образований. Вкрапленники обычно составляют не больше 10—12% общей массы породы; приблизительно 8—10% вкрапленников составляет тонкозернистый цеолит-монтмориллонитовый агрегат. Неоднородно также и стекло, представленное массивной и пемзовидной разновидностью. Присутствие пемзовидного стекла вызывает более интенсивное порообразование при низких температурах, так как, по-видимому, вспучиваются и некоторые разновидности цеолитов, замещающие стекло как вторичные образования. В то же время наличие в стекле обломочной массы монтмориллонита оказывает отрицательное влияние на

вспучиваемость стекла. Этим, наверное, и можно объяснить тот факт, что при несколько меньшем содержании вкрапленников из витрокластического туфа после обжига получается материал примерно с таким же объемным весом, как и из массивных разновидностей стекла (см. табл. 2).

2. Ранее одним из авторов статьи было показано, что монтмориллонитизация стекла отрицательно сказывается на его вспучиваемости (Наседкин, Явиц, 1962). Содержание в стекле 20—25% монтмориллонитовых агрегатов вызывает повышение объемного веса до 1. Вторичные минералы Элиген-Булакского месторождения представлены монтмориллонитом (5—6%), цеолитами (3—4%) и гидрослюдой (1—2%). Цеолиты и гидрослюды вспучиваются в процессе обжига и поэтому не оказывают существенного влияния на технологические свойства сырья. Возможно, что присутствие этих минералов в породе также влияет на понижение температуры вспучивания. Следует, очевидно, произвести повторные опыты для проверки оптимального температурного режима вспучивания данной разновидности сырья.

3. Настоящее исследование подтвердило сделанные ранее выводы о влиянии вещественного состава сырья и его структурно-текстурных особенностей на качество вспученного материала. В частности, присутствие в витрокластическом туфе пемзовидного стекла и цеолитов, по-видимому, может несколько понизить оптимальную температуру вспучивания. Перлитовая текстура и трещиноватость оказывают благоприятное влияние на процесс порообразования, хотя большое количество трещин понижает прочность вспученного перлита. Особенно это обстоятельство может сказаться при получении из перлитов Элиген-Булакского месторождения крупного заполнителя.

Институт геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии АН СССР

Научно-исследовательский институт  
строительных материалов и изделий (г. Киев)

Н. И. МОЛОКОВА

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ВСПУЧИВАНИЯ ВУЛКАНИЧЕСКИХ ПОРОД МЕСТОРОЖДЕНИЙ ТАШКЕСКЕН И КОК-ТЕПЕ В СРЕДНЕЙ АЗИИ**

В Средней Азии известно два месторождения вспучивающихся эффузивов: обсидианоподобные породы Ташкескенского месторождения Таджикской ССР и стекловатые порфиры и пехштейны месторождения Кок-Тепе, расположенного на границе Узбекской и Казахской республик. Указанные породы имеют кайнотипный облик. Основная их масса представлена водосодержащим вулканическим стеклом. Содержание вкрапленников 1—3% в породах Ташкескена и 10—20% в порфирах Кок-Тепе.

Обсидианоподобные породы Ташкескена залегают в толще кварцевых порфиров в виде крупных, местами обнажающихся на поверхности и уходящих вглубь линзовидных тел мощностью от 13 до 32 м. Запасы сырья до глубины 120 м достигают 2 млн. м<sup>3</sup>. Цвет пород в пределах месторождения меняется от светло-серо-зеленого на южном участке до



Таблица 1

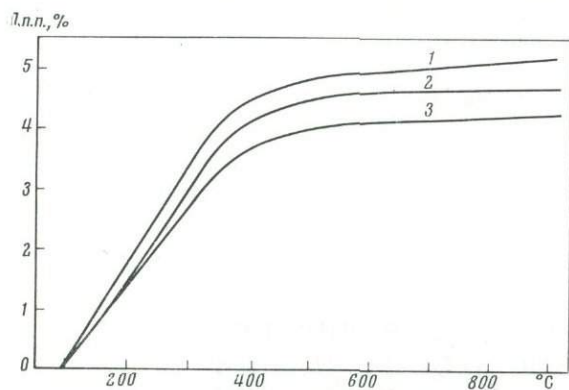
Химический состав (в вес. %) вулканических пород месторождений Ташкескен и Кок-Тепе

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
SiO <sub>2</sub> . . . . .	72,98	73,04	73,66	75,36	66,00	67,70	74,90	69,70
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	11,75	11,69	8,12	8,57	14,90	15,80	14,00	15,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	2,45	2,61	6,58	6,13	1,70	2,00	1,20	2,40
FeO . . . . .	—	—	—	—	0,42	0,53	0,14	0,20
CaO . . . . .	1,80	1,50	2,00	2,40	2,77	3,07	2,16	2,85
MgO . . . . .	0,07	0,14	0,04	Следы	0,20	0,42	0,20	0,42
K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O . . . .	6,81	6,14	4,91	3,76	8,35	6,48	6,08	8,87
CO <sub>2</sub> . . . . .	—	—	—	—	0,21	0,63	0,16	0,21
SO <sub>2</sub> . . . . .	0,03	0,05	1,01	0,43	—	—	—	—
П.п.п. . . . . .	4,11	4,83	3,68	3,65	6,22	4,84	1,18	1,20
Сумма . . . . .	100,00	100,00	100,00	100,00	100,77	101,47	100,02	101,25

1—черный перлит, Ташкескен, участок Центральный; 2—то же; 3—серо-зеленый перлит, Ташкескен, участок Южный; 4—то же; 5—Витрофир, Кок-Тепе; 6—то же; 7—фельзитовый порфир, Кок-Тепе; 8—то же.

черного на центральном и северном участках. Встречаются отдельные выделения серо-зеленого и темно-коричневого стекла. Излом неровный. Поверхность излома, как правило, блестящая, реже — мутная. Объемный вес пород составляет 2,2—2,6 г/см<sup>3</sup>.

По химическому составу (табл. 1) и строению основной массы эти породы соответствуют требованиям, предъявляемым к перлитовому



Фиг. 1. Потери при прокаливании стекловатых пород Ташкескенского месторождения

Породы: 1 — темно-коричневая; 2 — серо-зеленая; 3 — черная

сырью. В их составе присутствует до 4—6% слабо связанной воды (фиг. 1), которая выделяется при температуре до 600° С. При высокотемпературном обжиге породы растрескиваются без вспучивания. Для осуществления эффективного вспучивания перлита необходимо применение предварительной термодготовки сырья.

В табл. 2 приведены средние результаты большого количества испытаний, показывающие, что наибольшее вспучивание этих пород происходит после того, как материал подвергался термодготовке при температуре 650° С в течение 20—30 мин. Количество остаточной воды определяется по разности между максимальной потерей при прокаливании и количеством воды, выделявшейся в процессе термодготовки. Определение оптимальной температуры и продолжительности обжига проводилось в результате изменения этих параметров в весьма широких пределах. На фиг. 2 графически представлена зависимость коэффициен-

Таблица 2

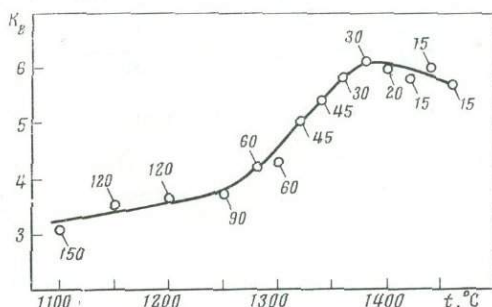
Влияние условий термоподготовки на остаточное количество воды и вспучиваемость обсидианоподобных пород Ташкескенского месторождения (температура 1300°С, продолжительность 30 сек)

Продолжительность, мин.	400°		500°		600°		650°		700°		800°	
	$B^*$	$K_B$	$B$	$K_B$	$B$	$K_B$	$B$	$K_B$	$B$	$K_B$	$B$	$K_B$
5	1,56	3,5	0,8	3,5	0,44	4,2	0,3	4,2	0,2	4,8	Не опр.	4,5
10	1,24	3,7	0,7	4,0	0,24	4,3	0,2	4,5	0,18	4,8	То же	2,2
20	1,17	4,1	0,4	4,4	0,24	5,1	1,19	6,2	0,13	3,2	»	1,7
30	1,05	4,4	4,4	0,4	0,19	—	0,16	6,0	0,1	1,1	»	Не опр.
>30	0,76	4,8	0,35	5,0	0,19	5,3	0,16	3,3	0,1	Не опр.	»	То же

\* Здесь и далее везде:  $B$ —количество остаточной воды, %;  $K_B$ —коэффициент вспучивания.

та вспучивания от температуры обжига при оптимальном времени экспозиции. Наиболее интенсивное увеличение объема (данного сырья) (от 4 до 6) происходит в интервале температур 1280—1380°С. Оптимальная продолжительность обжига составляет 30—60 сек. Количество остаточной влаги при этом составляет 0,15—0,25 вес.%. В целом продолжительность процесса вспучивания с повышением температуры обжига от 1100 до 1460°С уменьшалась соответственно от 150 до 10—

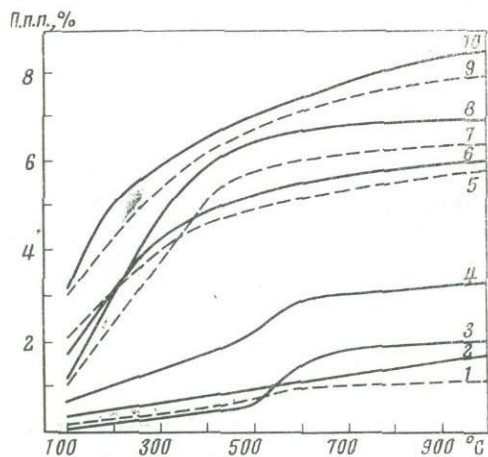
Фиг. 2. Влияние температуры обжига при оптимальной продолжительности опыта на вспучиваемость стекловатых пород Ташкескенского месторождения  
 $K_B$ —коэффициент вспучивания. 15, 20, 30 и т. д.—время в сек.



15 сек. Резкое снижение вязкости породы при температурах выше 1320—1340°С сопровождается все возрастающим оплавлением поверхности образцов и объединением мелких пор в более крупные, что значительно снижает прочность вспученного материала. Данный режим применим для щебня (фракция 5—10 мм). Термоподготовка сырья осуществлялась в муфельной печи при постоянной температуре, обжиг — в трубчатой электропечи ТК-30/200 с карборундовым нагревателем. Обжиг мелких фракций сырья (0,15—0,3 и 0,3—0,6 мм) производился в лабораторной трубчатой электропечи Т-40/600 при максимальной температуре 1250—1300°С. Мелкие фракции сырья также не вспучиваются без предварительной термоподготовки. После предварительного обжига вспучивание протекает интенсивно. Отдельные частицы (песковая фракция) приобретают парусность и выносятся из печи даже естественным тепловым потоком, что свидетельствует об особой их легкости ( $d_v$ , по-видимому, 150—200 кг/м<sup>3</sup>). Однако большая часть сырья проваливается в нижнюю часть печи, вспучиваясь лишь частично. Объемный вес этого тяжелого песка составляет 350—400 кг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, на основании лабораторных исследований была установлена принципиальная возможность получения из обсидианоподобных пород Ташкескенского месторождения вспученного перлитового

щебня с насыпным объемным весом до  $400 \text{ кг/м}^3$ . В результате производственных испытаний, проводившихся в 1959—1961 гг. институтом «Теплопроект» в вертикальных шахтных печах, выявлена возможность получения из этого сырья перлитового песка с объемным весом  $180\text{—}360 \text{ кг/м}^3$ . Наилучшее вспучивание (в 6—7 раз) было достигнуто при подаче термически подготовленного сырья непосредственно в зону обжига, где в зоне вспучивания температура достигала  $1300^\circ \text{C}$ . Снижение температуры обжига до  $1150\text{—}1180^\circ \text{C}$  приводило к уменьшению коэффициента вспучивания до 2,5. Испытания в производственных условиях, проведенные в 1964 г. в наиболее высокотемпературных вращающихся печах Шелеховского завода железобетонных изделий (Иркутская область), показали, что при



Фиг. 3. Зависимость величины потерь при прокаливании от температуры для вулканических пород месторождения Кок-Тепе 1—4 — фельзитовый липарит, 5—10 — стекловатая порода

максимально достижимой на этой аппаратуре температуре  $1200^\circ \text{C}$  коэффициент вспучивания едва приближается к 3.

Вулканические породы месторождения Кок-Тепе представлены вспучивающимися стекловатыми порфирами и пехштейнами, а также слабо вспучивающимися фельзитовыми и не вспучивающимися липаритовыми порфирами. Стекловатые порфиры представляют собой породу с неровным изломом и стеклянносмоляным блеском. Вкрапленники составляют 5—20% общей массы породы. Буровато-серая основная масса породы имеет стекловатую структуру и флюидальную текстуру. В ряде шлифов четко заметна перлитовая отдельность.

Пехштейны представлены хрупкой породой красновато-бурого цвета. В изломе хорошо видна скорлуповатая отдельность. Блеск тусклый, стеклянносмоляной. Под микроскопом видно, что стекловатая основная масса расчленена ветвящимися прожилками. Флюидальность отсутствует или видна нечетко. Вкрапленники составляют 15—17%.

Липаритовый порфир — светло-коричневая порода с черными линзовидными включениями. Содержание вкрапленников — около 20%. Основная масса кристолитического строения.

Фельзитовый порфир — буровато-коричневая порода с обильными трещинами. Вкрапленники составляют 15—18%. Стекловатая основная масса местами раскристаллизована.

Названные породы залегают на поверхности и могут разрабатываться открытым способом. По предварительным данным, запасы только стекловатых порфиров превышают  $1,5 \text{ млн. м}^3$ , а практически они значительно больше. По химическому составу породы, слагающие месторождение, относятся к кислым образованиям. Испытания этих пород проводились по методике, принятой при исследовании сырья Ташкентского месторождения.

При обжиге в температурном интервале от  $1300$  до  $1380^\circ \text{C}$  породы растрескиваются. Стекловатые порфиры и пехштейны растрескиваются преимущественно параллельно отдельности, а липаритовые и фельзитовые порфиры растрескиваются значительно слабее вдоль редких и глубоких трещин. Наряду с растрескиванием при обжиге наблюдается

Таблица 3

Влияние температуры и продолжительности термоподготовки на вспучиваемость обсидиановых порфиров и пехштейна Кок-Тепе (температура вспучивания 1380°С, продолжительность 15 сек)

Порода	400°		450°		500°		600°		650°		700°		800°	
	$K_B^*$	$t$	$K_B$	$t$	$K_B$	$t$	$K_B$	$t$	$K_B$	$t$	$K_B$	$t$	$K_B$	$t$
Стекловатый порфир (проба 1)	—	—	3,3	40	3,1	30	3,4	20	4,2	5	4,0	5	1,8	5
То же (проба 5)	2,7	40	—	—	3,3	30	3,3	20	3,1	5	3,1	5	2,3	5
То же (проба 8)	3,3	90	3,8	60	3,5	60	3,5	40	4,0	120	3,5	5	2,4	5
Пехштейн . . .	—	—	3,3	60	3,7	30	4,2	20	3,5	10	2,5	5	2,5	5

\*  $K_B$  — коэффициент вспучивания;  $t$  — время термоподготовки, мин.

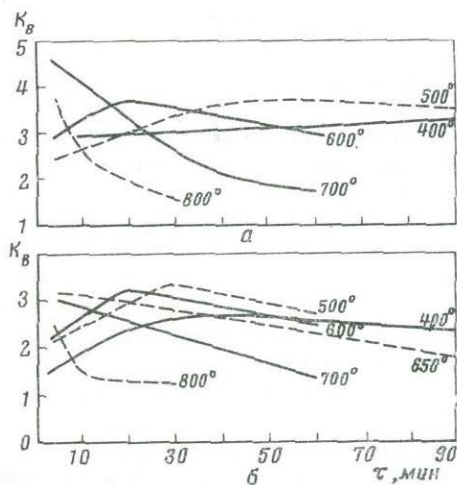
слабое вспучивание всех пород, кроме липаритовых порфиров, и возрастающее с повышением температуры остеклование поверхности образцов. На фиг. 3 показаны особенности выделения воды из пород Кок-Тепе в зависимости от температуры. Потери при прокаливании меняются в широком диапазоне: 5,83—8,53 для порфиров и пехштейнов и 1,11—3,23 — для липаритовых и фельзитовых порфиров. Наиболее интенсивное выделение воды происходит при температурах до 600°С.

Следует отметить значительное количество гигроскопической воды (до 3%) в породах с наибольшими значениями потерь при прокаливании, что можно объяснить повышенной сорбционной способностью трещиноватых пород.

В результате испытаний было установлено, что наилучшее вспучивание (в 4—5 раз) для обсидиановых порфиров и пехштейнов (табл. 3) происходит при термоподготовке при 600°С в течение 20—30 мин. Оптимальные параметры термоподготовки для фельзитовых порфиров оказались аналогичными. Однако максимальные значения коэффициента вспучивания оставались довольно низкими (около 2,5). Липаритовые порфиры практически не вспучиваются. Фельзитовые и липаритовые порфиры при обжиге не вспучиваются, а растрескиваются. Это свидетельствует о нецелесообразности их использования для получения вспученного перлита.

На фиг. 4 представлена зависимость коэффициента вспучивания от продолжительности и температуры термоподготовки. Продолжительность термоподготовки уменьшается с 40—60 до 5 мин. при увеличении температуры от 400 до 800°С.

Следует отметить, что температура и продолжительность термоподготовки — взаимозависимые величины только в определенных пределах. Если термоподготовка производится при температуре ниже 500°С



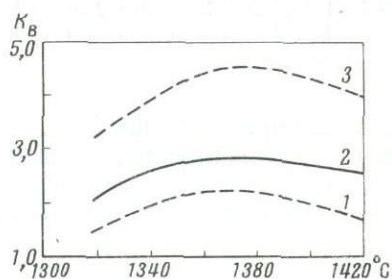
Фиг. 4. Зависимость коэффициента вспучивания от температуры и продолжительности термоподготовки

а — проба 8; б — проба 5;  $K_B$  — коэффициент вспучивания

(так же как и для обсидианоподобных пород Ташкескена), то независимо от времени ее экспозиции оказывается невозможным получение материала с высоким коэффициентом вспучивания.

На фиг. 5 представлена зависимость коэффициента вспучивания от температуры обжига и пределы его изменения для каждой группы пород. Наиболее эффективное вспучивание  $K_v$  (2,8—4,5 для стекловатых порфиров и пехштейна и 2,2—2,8 для фельзитовых порфиров) достигается при следующих технологических параметрах: термическая подготовка сырья при температуре 600° С в течение 20—30 мин; вспучивание при температуре 1350—1400° С в течение 12—17 сек.

Для обеспечения оптимального вспучивания этих пород требуется 0,4—0,7% прочно связанной воды, которая выделяется при температуре,



Фиг. 5. Зависимость коэффициента вспучивания вулканических пород месторождения Кок-Тепе от температуры

1, 2 — фельзитовый порфир;  
3 — стекловатая порода

превышающей 500° С. Указанное количество составляет 10—15% общего содержания воды в породе.

Однако при обжиге этих пород даже в оптимальных условиях отдельные гранулы сильно размягчаются и их поверхности интенсивно оплавляются. Это обусловлено, по-видимому, наличием карбонатов ( $CO_2$  от 0,16 до 0,63%). Наряду с исключительно высокой температурой вспучивания указанное обстоятельство является серьезным препятствием для получения вспученного материала с применением обычных вариантов технологических схем. Из перлитов Кок-Тепе, по-видимому, целесообразно получать пористые заполнители методом двойной поризации на агломерационных решетках по технологии, разработанной в Научно-исследовательском институте строительных материалов и изделий (г. Киев).

Испытания стекловатых порфиров в производственных условиях на перлитовой установке Шелеховского завода при температуре 1200° С показали отсутствие вспучивания.

Таким образом, существенная особенность вспучивающихся стекловатых эффузивов Средней Азии — повышенная (по сравнению с перлитами других месторождений) температура вспучивания.

Большое содержание в стекле слабо связанной воды вызывает при обжиге интенсивное растрескивание без вспучивания. Этим стекла месторождений Средней Азии отличаются от стекол Армянских и Закавказских месторождений (Явиц, 1963). Стекловатые породы Ташкескена и Кок-Тепе вспучиваются после термодготовки при 600—650° С. Эта температура значительно превышает температуру термодготовки перлитов Мухор-Талы.

На основании проведенных исследований, а также по данным других исследователей (Петров, Наседкин, Полинковская, 1962) можно утверждать, что обсидианоподобные породы Ташкескена могут быть отнесены к хорошо вспучивающимся, но наиболее высокотемпературным разновидностям перлитового сырья.

Учитывая, что в лабораторных условиях по сравнению с производственными вспученный перлит обычно получается с более высоким

объемным весом, целесообразность организации производства в Средней Азии вспученного перлита из местного сырья представляется очевидной. Однако при проектировании и строительстве предприятий по производству вспученного перлита следует учитывать специфические особенности сырья.

Ташкентский зональный институт  
экспериментального проектирования

М. Т. СЕДАКОВА, Ф. И. КОВАЛЬСКИЙ, Н. И. СЕРГЕЕВ, К. А. СЕРГЕЕВА

### **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ВИТРОКЛАСТИЧЕСКИХ ТУФОВ МУХОР-ТАЛЫ И ПРОИЗВОДСТВО ПОРИСТЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ И БЕТОНОВ НА ИХ ОСНОВЕ**

Изучение технологических свойств вулканических пород Мухор-Талинской группы месторождений показывает, что не только собственно перлиты, но и сопутствующие им липариты, витрокластические агломератовые туфы, брекчиевые лавы вулканических стекол, монтмориллонитизированные туфы и другие породы могут эффективно использоваться в народном хозяйстве. В частности, выяснено, что пористые заполнители могут быть получены путем вспучивания брекчиевых лав и витрокластических туфов.

Исследованиями, проведенными в Центральном научно-исследовательском экспериментальном институте проектирования жилищ, Всесоюзном научно-исследовательском институте строительных материалов и Научно-исследовательском институте железобетона, установлена пригодность такого заполнителя для производства легких конструктивных бетонов, применяемых для изготовления несущих панелей наружных и внутренних стен и перегородок, а также перекрытий покрытий.

На Мухор-Талинском месторождении, где в настоящее время производится добыча перлита, вулканические стекла подстилаются мощной (до 120 м) толщей витрокластических туфов и брекчиевых лав. Указанные породы сложены угловатыми обломками вулканического стекла, которое характеризуется отчетливо выраженной полосчатостью и перлитовой текстурой. Размер обломков чаще всего составляет 1—2 см (реже 5—8 см); в этом случае порода приобретает облик агломератового туфа. Цементирующая масса представлена тонкораздробленным стекловатым материалом, причем осколкам стекла свойственна характерная для вулканического пепла роговчатая, серповидная и неправильная форма. В верхах толщи витрокластических туфов произошло частичное сваривание осколков цемента, и последний превратился в сравнительно однородную стекловатую массу, которая иногда даже обтекает более крупные обломки стекла (брекчиевая лава).

Для витрокластических туфов и брекчиевых лав характерна различная степень кристалличности вещества и вторичных изменений. Обычно, по сравнению с цементом, обломки имеют более свежий облик. В породе выделяются участки нередко линзовидной формы, обнаруживающие криптозернистую и микрофельзитовую структуры. Эти участки под микроскопом слабо поляризуют, однако определить их минералогический состав зачастую невозможно. Кристаллические включения придают

породе пятнистую и полосчатую текстуру. Сферолитовая кристаллизация проявлена довольно редко. В целом следует подчеркнуть весьма слабую девитрификацию стекла, хотя в отдельных шлифах девитрифицированные участки составляют до 27%.

Стекло обычно монтмориллонитизировано. Чешуйки монтмориллонита группируются в агрегаты червеобразной, сферолитоподобной и неправильной формы. Минерал бесцветен либо окрашен в зеленый цвет различной густоты. Ядра перлитовых отдельностей обычно сложены чистым гомогенным стеклом. По трещинам перлитовой отдельности, вдоль флюидалности, а также и другим трещинам, присутствующим в породе, развиваются агрегаты монтмориллонита, а также тонкозернистые скопления радиальнолучистых, пластинчатых и ромбовидных агрегатов бесцветных и розоватых цеолитов.

Степень изменения вулканического стекла, входящего в состав витрокластических туфов, крайне непостоянна. Содержание в них монтмориллонитов и цеолитов может варьировать от 1—2 до 50—60%. Такие разности пород, хотя и претерпели вторичное изменение, сохраняют способность к вспучиванию. Нижние горизонты туфов изменены более интенсивно и содержат вторичные минералы (более 65—70% объема породы). В связи с этим эта порода окончательно утрачивает способность к увеличению объема при обжиге, ибо она практически не содержит гомогенного стекла.

Запасы витрокластических туфов и брекчиевых лав только на одном Мухор-Талинском участке, по данным разведочных работ, определяются в 1 млн. м<sup>3</sup>. Они могут быть значительно увеличены за счет доразведки других месторождений, расположенных в районе Мухор-Талы. Поэтому потребности промышленности строительных материалов Союза в пористом заполнителе для высокопрочных легких конструктивных бетонов (с учетом объемов строительно-монтажных работ, планируемых на ближайшие 10—15 лет) могут быть полностью удовлетворены за счет промышленного использования витрокластических туфов участка Мухор-Тала.

С точки зрения технологии среди витрокластических агломеративных туфов могут быть выделены следующие разновидности: а) слабо монтмориллонитизированный туф (обломки сохраняют стеклянный блеск и раковистый излом); б) монтмориллонитизированный и цеолитизированный туф, содержащий до 30—40% вторичных минералов (блеск восковой, стекловидный); в) измененный и частично окристаллизованный туф с содержанием гомогенного стекла до 30% (блеск матовый, излом неровный). Все они залегают совместно и образуют природные смеси в следующих соотношениях (объемн. %): а) 10—70, б) 8—20 и в) 5—70%. Характерные разновидности были исследованы на вспучиваемость по двухстадийной схеме (термоподготовка при температуре 350° в течение 15 мин., затем вспучивание при температуре 1160° в течение 1 мин.). Петрографическое исследование вспученного продукта дало следующие результаты<sup>1</sup>.

1. Очень слабо монтмориллонитизированные стекла имеют объемный вес ( $d_v$ ) в куске 0,6—1,0 г/см<sup>3</sup>; объем пор составляет 30—45% площади шлифа, а их размеры варьируют от 0,005 до 0,5 мм; наиболее крупные поры часто сливаются в одну и обычно приурочиваются к центру перлитовых ячеек; в участках образца с большим содержанием монтмориллонита пористость более мелкая и размер пор уменьшается до 0,1—0,2 мм.

2. Монтмориллонитизированный и цеолитизированный перлит, входящий в состав туфа, имеет объемный вес ( $d$ ) в куске 0,9—1,4 г/см<sup>3</sup>;

<sup>1</sup> Выполнены И. Н. Егоровой (Петрографическая лаборатория Бурятского ГУ).

общий объем пор сокращается до 5—15% площади шлифа с уменьшением их размеров до 0,1—0,2 мм; с наиболее мелкими порами иногда ассоциируют кристаллические новообразования.

3. Окристаллизованные витрокластические туфы имеют объемный вес (в куске) 1,4—1,8 г/см<sup>3</sup>; пористость небольшая, так как поры развиваются только по реликтовым участкам стекла. Преобладают поры размером от 0,01 до 0,04 мм в поперечнике. Некоторые особенности вспучивания измененных пород ранее описаны Н. С. Мануйловой (Мануйлова и др., 1962), В. В. Наседкиным и И. Н. Явицем (1962).

Предварительная термообработка монтмориллонитизированных разностей должна проводиться при относительно низкой температуре и длительной выдержке, а вспучивание — при более высокой (1200°) температуре по сравнению с обычным перлитом.

При обжиге этих пород в промышленных условиях на перлитовой установке Улан-Удэнского домостроительного комбината был получен пористый наполнитель, свойства которого иллюстрируются табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические свойства вспученных витрокластических туфов

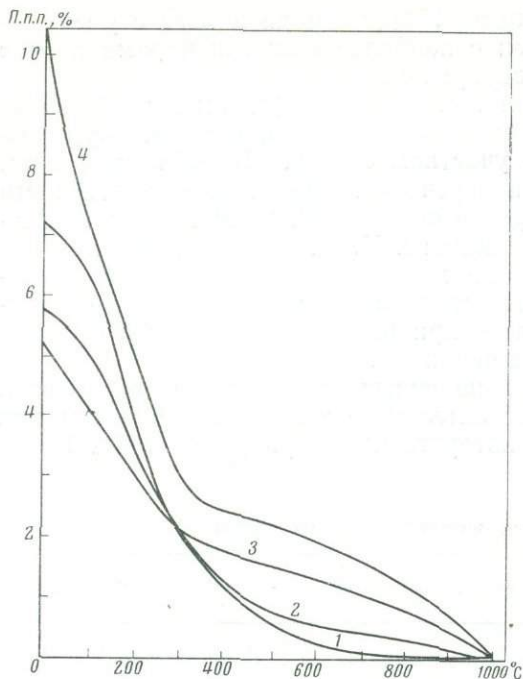
Размер обломков сырого перлита, мм	Насыпной объемный вес после вспучивания, кг/м <sup>3</sup>	Состав, вес. %					Прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	
		10—20 мм	5—10 мм	2,5—5,0 мм	1,2—2,5 мм	0,6—1,2 мм	10—20 мм	5—10 мм
5—15	605	46,7	41,7	11,6	—	—	13—17,9	11—16,9
>5	535	10,9	37,0	29,3	17,3	5,5	11—13,5	11—12,5

Пористость такого наполнителя (фракция 10—20 мм) составляет 24,5%. Испытания на морозостойкость показали, что вспученный витрокластический туф имеет повышенную по сравнению со вспученным перлитом морозостойкость: потери в весе после 25 циклов попеременно-го замораживания и оттаивания составили 6,3—6,8% для фракции 10—20 и 2,6—3,0% для фракции 5—10 мм (против 7—11% для фракции 10—20 и 4,5—5,0% для фракции 5—10 мм вспученного кондиционного перлита).

При вспучивании во вращающейся печи смеси чистых и частично закристаллизованных и монтмориллонитизированных перлитов, туфов и лавобрекчий мелкие фракции чистых разностей перлита вспучиваются во взвешенном состоянии, на футеровке печи обжигаются щебень крупной фракции и плохо вспучивающаяся фракция песка. Вспучивание таких смесей можно осуществлять по существующей технологической схеме переработки перлитового сырья при наличии устройства для сбрасывания тяжелых фракций вспученного перлита из выгрузочной головки печи в специальную емкость (Полиновская и др., 1966). Для разделения легких и более тяжелых по объемному весу зерен вспученного продукта следует обеспечить их отбор из печи вспучивания двумя самостоятельными системами пневмотранспорта с последующей раздельной классификацией в барабанных грохотах. В верхний трубопровод вместе с дымовыми газами поступают наиболее мелкодисперсные и легкие частицы, в нижний — основное количество вспученного материала.

Для увеличения однородности готового продукта полученный материал целесообразно после сортировки по гранулометрическому составу в барабанном грохоте подвергнуть разделению по объемному весу в кипящем слое.





Зависимость количества остаточной воды в гомогенных и монтмориллонитизированных разновидностях перлита Мухор-Талинской группы месторождений (температуры обжига)

1—неизмененный перлит (Мухор-Булык, Забайкалье); 2—неизмененный перлит (Мухор-Тала); 3—монтмориллонитизированный витрокластический туф; 4—монтмориллонитизированный брекчиевидный перлит

÷ 720 кг/м<sup>3</sup>). Соотношения между этими разновидностями по объему и весу резко колеблются. Очевидно, что и песок также представлен смесью кондиционного перлита и тяжелого пористого заполнителя. Механическая прочность легкого заполнителя составила 9—12 кг/см<sup>2</sup>, а тяжелого 19—28 кг/см<sup>2</sup>. Очевидно, при испытании на прочность в процессе погружения пуансона в цилиндре происходит неравномерное разрушение малопрочных легких зерен более тяжелыми и прочными<sup>1</sup>. Водопоглощение крупного и мелкого щебня и крупного песка составляет 24,3—44,0% по объему, что на 10—20% ниже, чем для кондиционного перлита.

Объем межзерновых пустот щебня (объемный вес 1,05 г/см<sup>3</sup>) составляет для фракции 10—20 мм 51%, для фракции 5—10 мм 52% ( $d_v = 1,088$  г/см<sup>3</sup>).

Для изучения вспученного материала как заполнителя были взяты следующие фракции: 10—20 мм с объемным весом 482—545 кг/м<sup>3</sup>; 5—10 мм с 433—540 кг/м<sup>3</sup>; 1,2—5 мм с 460—650 кг/м<sup>3</sup>; 0,1—1,2 мм с 400—500 кг/м<sup>3</sup>.

В результате исследований, выполненных в Институте проектирования жилищ, в соответствии с ГОСТ 9758-61 предел прочности на сжатие крупного пористого щебня составил в среднем 11,6 кг/см<sup>2</sup>, а мелко-го — 11,3 кг/см<sup>2</sup>. ГОСТ 10832-64 для кондиционного перлита предусматривает минимальную прочность 13 кг/см<sup>2</sup>. Для выявления причин снижения механической прочности заполнителя было проведено разделение по весу пористого заполнителя в воде, в результате которого установлено, что щебень, полученный после обжига лавобрекчий и частично закристаллизованных стекол, представляет собой разнородные смеси, состоящие из кондиционного вспученного перлита ( $d_v = 280 \div 325$  кг/м<sup>3</sup>) и тяжелого заполнителя ( $d_v = 600 \div$

<sup>1</sup> В период подготовки данного сборника к изданию во ВНИИСТРОМ были проведены дополнительные исследования по выяснению причин, влияющих на понижение прочности вспученного материала. Установлено, что из измененных разновидностей вода выделяется при более высоких температурах. Содержание в них воды более высокое, нежели в неизменном перлите (см. фиг.). Для вспучивания монтмориллонитизированных разновидностей рекомендована следующая методика. Вначале порода в течение 5—10 мин медленно прогревается до 200—250°С, затем за 10—12 мин нагревается до 500—700°. Высокотемпературный обжиг осуществляется при 1200—1250°С. Применение вышеописанной методики позволило получить пористый щебень (5—20 мм) с насыщенным объемным весом 600—800 кг/м<sup>3</sup> и прочностью на сжатие 25—44 кг/см<sup>2</sup>. Достигнуто также увеличение однородности вспученного материала.

Объемный вес в куске кондиционного перлита значительно ниже и составляет 0,6—0,7 г/см<sup>3</sup>. Коэффициент формы (отношение наибольшего диаметра к наименьшему) пористого щебня составляет 1,48—1,54. В крупном заполнителе содержится повышенное количество мелких зерен. Поверхность щебня крупнопористая, неровная. Указанные особенности материала приводят к увеличению расхода цемента.

На основе указанного заполнителя разработана технология получения бетона марки 75-200 с объемным весом 1100—1300 кг/м<sup>3</sup> и расходом цемента 330—550 кг/м<sup>3</sup>. Установлено, что оптимальное количество воды, обеспечивающее максимальную прочность бетона, составляет 240 л/м<sup>3</sup>, в то время как для перлитобетона необходимо 300 л/м<sup>3</sup>.

Таблица 2

Себестоимость (в руб) производства пористого заполнителя из витрокластических туфов Мухор-Талы

Затраты	1 т заполнителя (средние данные)	1 м <sup>3</sup> вспученного перлита при объемном весе, кг/м <sup>3</sup>		
		500	600	700
Топливо технологическое	3,24	1,62	1,94	2,27
Электроэнергия . . . . .	1,58	0,79	0,95	1,10
Пар технологический . . . . .	0,74	0,37	0,44	0,52
Вода технологическая . . . . .	0,10	0,05	0,06	0,07
Зарплата производственных рабочих . . . . .	1,44	0,72	0,86	1,00
Начисления на зарплату	0,08	0,04	0,05	0,06
Цеховые расходы . . . . .	4,64	2,32	2,79	3,25
Цеховая себестоимость переработки . . . . .	11,82	5,91	7,09	8,27
Общезаводские расходы . . . . .	0,59	0,29	0,46	0,41
Фабрично-заводская себестоимость . . . . .	12,41	6,20	7,45	8,68
Итого . . . . .	36,64	18,31	21,09	25,63

На основании испытания опытных образцов для легкого бетона марки 150 с объемным весом 1300 кг/м<sup>3</sup> при расходе цемента 450 кг получают следующие характеристики: а) призмная прочность составляет 125 кг/см<sup>2</sup>; б) модуль упругости ( $E_b$ ) равен 94 000 кг/см<sup>2</sup>; в) модуль сдвига ( $G$ ) равен 39 000 кг/см<sup>2</sup>; г) предел прочности ( $R_p$ ) при растяжении составляет 2,86 кг/см<sup>2</sup>.

Учитывая опыт применения легкого бетона (керамзитобетона, шлакобетона) в несущих конструкциях зданий, есть основание считать целесообразным применение и легкого бетона на основе пористого заполнителя, полученного из лавобрекчий и частично закристаллизованных стекол.

Для создания более эффективных легкобетонных несущих конструкций необходимо продолжить исследования, направленные на получение качественного пористого заполнителя из лавобрекчий и частично закристаллизованных стекол (с повышенной прочностью, однородностью, низким коэффициентом формы и т. д.), а также на изготовление легкого бетона с улучшенными качествами (модули упругости и сдвига, предел прочности при растяжении и др.).

Использование монтмориллонитизированных и частично закристаллизованных разновидностей вулканических пород Мухор-Талинского месторождения для производства пористых заполнителей бетонов дает возможность более эффективно осуществлять эксплуатацию этого место-

рождения. При существующей системе разработки месторождения витрокластические туфы и близкие им по составу и технологическим свойствам породы поступают в отвал, затрудняя ведение горноэксплуатационных работ и повышая себестоимость добычи перлитовой породы на 50—80%.

Эффективность промышленного использования в строительстве витрокластических туфов и брекчиевых лав вулканических стекол подтверждается технико-экономическими расчетами.

Себестоимость производства пористого заполнителя из витрокластических туфов и подобных им пород в расчете на 1 м<sup>3</sup> заполнителя в зависимости от объемного веса характеризуется следующими цифрами (табл. 2).

При условии получения качественного пористого заполнителя легких бетонов, отвечающего нормативным требованиям, легкий бетон марки 150 может быть применен для внутренних несущих конструкций жилых зданий. Себестоимость 1 м<sup>2</sup> внутренних несущих стен из перлитобетона высоких марок составит 5—6 руб на 1 м<sup>2</sup> стены, что на 40—50% дешевле аналогичных стен из кирпича.

Центральный научно-исследовательский институт проектирования жилищ

Всесоюзный научно-исследовательский институт строительных материалов

Институт экономики строительства

Бурятское геологическое управление



В. В. ВАРГИН, И. Н. ЯЩИШИН

## РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИЯ ПЕРЛИТОВ И ЛИПАРИТОВ ЗАКАРПАТЬЯ

Нами исследовалась возможность использования перлитов и липаритов Закарпатья для получения стеклокристаллических материалов с заданными свойствами. Перлиты и липариты Береговского холмогорья (Закарпатская область) однородны по химическому составу, содержат значительное количество окислов щелочных металлов и легко поддаются механической обработке (дроблению, размолу). Содержание в перлитах и липаритах окислов щелочных металлов в количестве 5—6% дало возможность получить стекла с удовлетворительными варочными свойствами, без дополнительного применения дорогого и дефицитного щелочесодержащего сырья. Синтезированные стекла относятся к системам  $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—MgO—CaO—K}_2\text{O}$  (образец 20/Л-7-4) и  $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—Fe}_2\text{O}_3\text{—MgO—CaO—R}_2\text{O}$  (образцы Л-32-4 и П-32-4). Варка стекол производилась в кварцевых тиглях емкостью 1—3 л (стекло 20/Л-7-4) при температуре 1510—1530° С и 1430—1450° С (стекла Л-32-4 и П-32-4).

Как сырье для стекла 20/Л-7-4 применялся липарит с подшихтовкой доломитом и сульфатом натрия (4,5% общего объема шихты); для стекол Л-32-4 и П-32-4 — липарит и перлит с подшихтовкой соответственно доломитом и пиритными огарками. Химический состав исходных материалов приведен в табл. 1.

При разработке технологии изготовления стеклокристаллических материалов с мелкозернистой структурой на основе перлитов и липаритов ставилась цель получить прочные, химически стойкие и относительно де-

шевые продукты. В качестве нуклеаторов гетерогенной кристаллизации использовались  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{NiO}$  и другие окислы металлов. Наиболее интенсивная кристаллизация происходила после добавки окиси хрома. Определение оптимального содержания окиси хрома и изучение кинетики кристаллизации синтезированных стекол проводились путем анализа данных об изменении плотности при тепловой обработке стекол.

Таблица 1

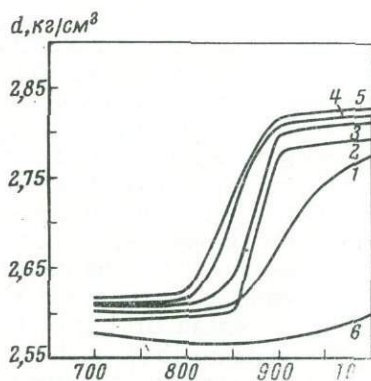
Химический состав сырья (вес. %)

Компонент	1	2	3	4
$\text{SiO}_2$ . . . . .	72,40	75,33	0,79	15,44
$\text{Al}_2\text{O}_3$ . . . . .	13,86	14,55	—	6,71
$\text{TiO}_2$ . . . . .	0,08	0,11	—	—
$\text{Fe}_2\text{O}_3$ . . . . .	1,09	1,27	0,36	74,69
$\text{FeO}$ . . . . .	0,19	0,12	—	—
$\text{MgO}$ . . . . .	0,62	0,07	21,04	0,25
$\text{CaO}$ . . . . .	1,06	0,83	30,22	0,93
$\text{Na}_2\text{O}$ . . . . .	} 4,78	1,75	—	—
$\text{K}_2\text{O}$ . . . . .		3,32	—	—
$\text{SO}_3$ . . . . .	0,29	0,20	—	1,75
П.п.п. . . . .	5,68	3,48	47,69	—
Сумма	100,05	100,11	100,00	99,77

1—перлит, береговский район, Закарпатье; 2—липарит, то же; 3—доломит, Раховский район, Закарпатье; 4—пиритные огарки.

На фиг. 1 показана зависимость плотности от температуры тепловой обработки стекол, содержащих окись хрома от 0,5 до 4,0%.

При увеличении содержания окиси хрома в стекле до 1,0—1,5% превращение стекла в кристаллическое состояние происходит в интервале



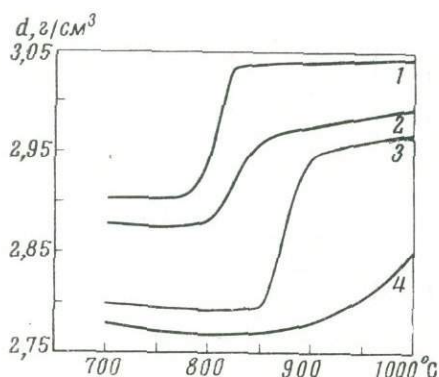
Фиг. 1. Зависимость удельного веса ( $d$ ) стекол, содержащих  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , от температуры их тепловой обработки

Кривые: 1—0,5%; 2—0,7%; 3—1,0%,  
4—1,5%; 5—4,0%; 6—0,0%

850—900° (кривые 3, 4). Увеличение содержания окиси хрома в стекле до 4% (кривая 5) не вызывает смещения интервала температурного превращения. Дальнейшее повышение температуры выше интервала превращения оказывает влияние на плотность смеси. Таким образом, оптимальное содержание окиси хрома в стекле, при котором интервал превращения стекла в кристаллическое состояние максимально смещается в сторону низких температур, составляет 1,0—1,5%. При содержании окиси хрома в стекле меньше оптимального значения интервал превра-

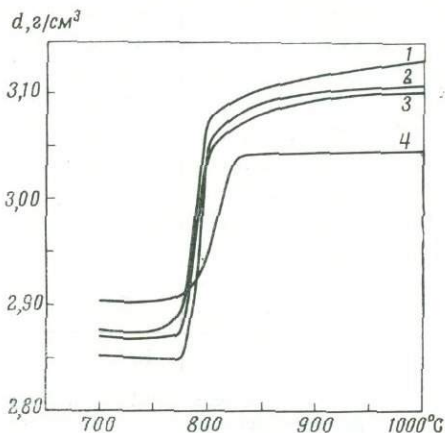
щения стекла в кристаллическое состояние перемещается в сторону более высоких температур, что ведет к деформации образцов и образованию крупнозернистых структур.

Известно, что кристаллизация массы гомогенного стекла распространяется от поверхности в глубь образца. Роль поверхностной энергии в этом процессе весьма велика, поэтому температура кристаллизации зависит от степени измельчения образца. При грубом измельчении образцов стекла экзотермический эффект на термограмме располагается в области более высоких температур, чем при тонком измельчении. Гетерогенная кристаллизация с использованием нуклеатора начинается по всей массе стекла, и разница в положении экзотермического эффекта на термограмме при грубом и тонком измельчении стекла незначительна.



Фиг. 2. Зависимость удельного веса ( $d$ ) стекол, содержащих  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ , от температуры их тепловой обработки

Кривые: 1—13%; 2—10%; 3—8%; 4—1%



Фиг. 3. Зависимость удельного веса ( $d$ ) стекол с добавкой  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  от температуры их тепловой обработки

Кривые: 1—6%; 2—3,6%; 3—1,8%; 4—0,0%

Полученные нами данные дифференциально-термического анализа грубо и мелко измельченных образцов стекол с нуклеатором  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  показали, что при содержании в стекле 1%  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  смещение экзотермических эффектов отсутствует, что согласуется с данными об изменении плотности стекло-кристаллических материалов в зависимости от температуры тепловой обработки и содержания окиси хрома в стекле.

Объемная кристаллизация стекол, синтезированных на основе перлита и липарита, может быть достигнута и в результате частичной замены щелочноземельных окислов окислами железа. На фиг. 2 показана зависимость плотности от температуры тепловой обработки стекол, содержащих окислы железа от 1 до 13%. С увеличением содержания окислов железа в стекле до 13% (кривая 1) интервал превращения стекла в кристаллическое состояние перемещается в сторону низких температур (на  $100-150^\circ$  по сравнению со стеклом, содержащим 1%  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ; кривая 4) и достигает минимума  $800-850^\circ \text{C}$ .

Тепловая обработка железосодержащего стекла с добавкой сульфата натрия (фиг. 3) показала, что в результате ввода 2—6% этого соединения температурный интервал превращения стекла в кристаллическое состояние, судя по изменению плотности материала, перемещается на  $50^\circ$  в сторону низких температур и в дальнейшем очень мало изменяется с увеличением содержания сульфата натрия. Ввод сульфата натрия приводит к образованию более мелкозернистой структуры конечного про-

дукта. Частичная замена щелочноземельных окислов на окислы железа снизила температуру варки синтезированных стекол до 1430—1450° С.

Таким образом, по результатам изменения плотности материала в зависимости от режима термообработки и данным ДТА представилось возможным сделать вывод, что для стекла состава  $\text{SiO}_2\text{—Al}_2\text{O}_3\text{—MgO—CaO—R}_2\text{O}$  (обр. 20/Л-7-4) наиболее эффективный нуклеатор — окись

Таблица 2

Тепловая обработка стекол по стадиям

Образец	Первая		Вторая	
	температура, °С	время, мин	температура, °С	время, мин.
20/Л-7-4 . . . . .	690	30	950	60
Л-32-4 . . . . .	670	60	890	60
П-32-4 . . . . .	670	60	890	60

хрома в количестве 1—1,5%. Частичная замена щелочноземельных окислов на окислы железа в стеклах на основе перлита и липарита и ввод 3—4% сульфата натрия приводят к объемной кристаллизации стекол, получению мелкозернистой структуры и снижению температуры варки стекол.

Для получения стеклокристаллических материалов с мелкозернистой структурой синтезированные стекла подвергали тепловой обработке в две стадии. Первая (низкотемпературная) проводилась в области температур эндотермических эффектов на кривых ДТА, вторая (высокотемпературная) — в области температур экзотермических эффектов (табл. 2).

Время экспозиции на каждой стадии определялось по данным изменения плотности при изотермической тепловой обработке.

Исследование свойств и структуры исходных стекол и конечных продуктов показывает, что в интервале перехода стекол из аморфного в кристаллическое состояние происходит изменение не только структуры, но и ряда других свойств (табл. 3). Прочностные характеристики (проч-

Таблица 3

Некоторые свойства стекол и конечных продуктов

Физические свойства	20/Л-7-4		Л-32-4		П-32-4	
	стекло	конечный продукт	стекло	конечный продукт	стекло	конечный продукт
Плотность, г/см <sup>3</sup> . . . . .	2,6248	2,7987	2,7921	2,9824	2,7834	2,9513
Прочность на изгиб, кг/см <sup>2</sup> . . .	Не опр.	Не опр.	450—500	1300—1400	Не опр.	Не опр.
Микротвердость, кг/мм <sup>2</sup> . . . .	То же	То же	750	1050	То же	То же
Ударная вязкость, кг·см/см <sup>2</sup>	1,19	1,62	1,44	2,64	»	»
Хрупкость, кг·см/см <sup>3</sup> . . . . .	0,298	0,404	0,359	0,606	»	»
Температура начала размягчения, град . . . . .	715	1000	703	1000	»	»
Коэффициент линейного расширения при нагревании от 100 до 500°С, 10 <sup>-7</sup> ·α . . . . .	73,6	87,3	69,8	85,8	58,5	75,1
Химическая устойчивость в 1 N растворе HCl . . . . .	99,86	99,88	46,20	99,51	63,12	99,65
То же, в 2 N растворе NaOH	98,65	97,71	98,28	98,65	98,22	98,78

ность на изгиб, ударная вязкость, показатель хрупкости, микротвердость) конечных продуктов в 1,5—2 раза выше, чем у исходных стекол.

Химическая устойчивость конечного продукта и исходного стекла (20/Л-7-4) по отношению к HCl практически одинаковая, а по отношению к 2 N раствору NaOH у исходного стекла несколько выше. Большое различие в кислотостойкости наблюдается для исходных железосодержащих стекол (Л-32-4 и П-32-4) и полученных из них конечных продуктов. Исходные стекла Л-32-4 и П-32-4 неустойчивы по отношению к дву- нормальной HCl, в то время как кислотостойкость конечных продуктов составляет 99,6%. Химическая устойчивость по отношению к 2 N раствору NaOH хоть и незначительно, но также выше, чем у исходных стекол. При образовании стеклокристаллических структур особенно резко возрастает температура начала размягчения. Если для исходных стекол она составляет 700—715°, то для конечных продуктов она превышает 1000°. Как видно из табл. 3, превращение стекол в стеклокристаллическое состояние приводит к повышению коэффициента линейного расширения и, как следствие, к снижению термостойкости. Результаты рентгеноструктурного анализа показали, что в результате тепловой обработки исходных стекол произошло образование пироксеновой фазы сложного состава.

## ВЫВОДЫ

1. Исследована возможность использования перлитов и липаритов Закарпатья как дешевого и недефицитного сырья для получения искусственных стекол и стеклокристаллических материалов.

2. Выявлены количественные соотношения исходных материалов для получения стекол, при гетерогенной кристаллизации которых образуется пироксеновая фаза сложного состава.

3. По результатам изменения плотности при тепловой обработке стекол сделан вывод о кинетике кристаллизации стекол и оптимальном содержании нуклеаторов кристаллизации.

4. В результате двухстадийной тепловой обработки синтезированных стекол получены материалы с мелкозернистой структурой и высокими физико-механическими свойствами.

Ленинградский технологический институт им. Ленсовета

Львовский филиал Научно-исследовательского института строительных материалов и изделий

И. С. СОЛОНИНКО, Н. Г. ЛИТВИНЧУК

## О НЕКОТОРЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛИПАРИТОВ И ТУФОВ ЗАКАРПАТЯ И ДРУГИХ РАЙОНОВ СССР

В восточной части Советских Карпат (Выгорлат-Гутинская вулканическая гряда) в Береговском холмогорье и на Косино-Запсоньской возвышенности липариты (и их туфы) слагают экструзивные купола — Ардов, Варна, Пеликан, Хаеш и другие, сложенные липаритами, перлитами,

Таблица 1

## Химический состав (в вес. %) липаритов купола Пеликан

Компонент	1	2	3	Компонент	1	2	3
SiO <sub>2</sub> . . . .	75,33	75,33	76,64	Na <sub>2</sub> O . . . .	1,74	1,90	2,18
TiO <sub>2</sub> . . . .	0,11	0,11	0,10	K <sub>2</sub> O . . . .	3,32	3,32	3,64
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	14,55	14,69	13,79	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> . . . .	Следы	Следы	Следы
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . .	1,27	1,37	0,98	SO <sub>3</sub> . . . .	0,20	0,27	0,22
FeO . . . .	0,12	0,12	0,12	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> . . . .	0,92	0,94	0,77
MnO . . . .	0,00	0,00	0,00	П.п.п. . . .	2,56	2,66	2,13
MgO . . . .	0,07	0,10	0,10				
CaO . . . .	0,83	0,62	0,52	Сумма	101,02	101,43	101,18

туфами. Общая мощность пирокластических пород составляет десятки и сотни метров.

Липариты Береговского холмогорья и горы Пеликан, в частности, представляют породу, окрашенную в серовато-белый, реже в светло-фиолетовый цвет, плотную, пористую с порфировой структурой и хорошо выраженным флюидалным строением.

Для липаритов этого района характерны следующие физико-механические свойства: удельный вес 2,49—2,51 г/см<sup>3</sup>, объемный вес 2,22—2,25 г/см<sup>3</sup>, пористость 0,7—11,1%, водопоглощение 2,5—2,6%, предел прочности при сжатии 300—1150 кг/см<sup>2</sup>.

Структура липарита порфировая, местами со сферолитовой структурой основной массы. Текстура флюидалная, полосчатая. Химический состав представлен в табл. 1.

Под микроскопом основная масса породы представлена буроватым, слабо раскристаллизованным стеклом. Окраска стекла неравномерная, пятнистая, участками бурая, сероватая. В участках породы, где стекло светлоокрашенное, почти бесцветное, наблюдается сферолитовая структура. Порфировые выделения представлены таблитчато-призматическими, сильно измененными полевыми шпатами размером до 1,8 мм в длину, а также зернами кварца до 0,7 мм в поперечнике. Иногда по мелким трещинам породы развивается вторичный мелкозернистый кварц и вторичный халцедон. Рудный минерал (магнетит) присутствует в незначительном количестве (0,00л %).

В юго-восточной части Выгорлат-Гутинской гряды, в пределах хребта Великий Шллес липариты, липаритовые туфобрекчи и связанные с ними перлитопроявления пользуются значительным развитием. Для липаритов этой части вулканической гряды, как и для липаритов Береговского холмогорья, характерно крутопадающее расположение плоскостей флюидалности. Среди липаритовых пород встречаются стекловатые разновидности.

В северо-западной части гряды, в районе расположения Герцовского экструзивного купола липарито-дациты и андезиты-дациты занимают сравнительно небольшие площади. Липариты сиреневого цвета с четко выраженной флюидалностью развиты к северу от с. Герцовцы.

В последние годы в связи с проводившимися геологическими исследованиями на перлитовое сырье возникла необходимость комплексного использования пород, ассоциирующихся с водосодержащими вулканическими стеклами. Так, например, в Закарпатье, Западном Забайкалье, Приморском крае и других вулканических областях, где месторождения липаритов и перлитов связаны между собой, необходимо комплексное освоение месторождений, что значительно снизит стоимость добываемого сырья и изделий на его основе.



В последние годы в лабораториях Научно-исследовательского института строительных материалов (г. Киев) и его львовского филиала были проведены исследования липаритов и туфов месторождений Закарпатья, Западного Забайкалья, Грузии, Казахстана и других районов с целью установить перспективные направления для их практического использования: в качестве сырья для получения темной стеклотары, минеральной ваты, естественного и искусственного заполнителей бетонов, отощителя при производстве керамических масс, глазурей, стеновых силикатных материалов и т. д.

Переходим к краткому описанию возможных направлений использования липаритов, туфов, туфовидных лавобрекчий, туфодацитов и других вулканогенных пород.

Постоянство химического состава, наличие 5—7% щелочей позволяют с успехом применять липариты для производства темной стеклотары и ситал. Содержание  $Al_2O_3$  в липаритах в количестве 13—15% исключает необходимость ввода в стекольную шихту глиноземистого компонента (нефелинового концентрата). Применение липаритов для производства стекла тем более важно, что в Закарпатье отсутствуют стекольные пески, а применение привозных (Харьковская область) значительно удорожает продукцию. Использование липарита снизит употребление песка более чем на 50%.

Опытные варки стекла на основе липарита и выработка стеклоизделий (бутылок, низковольтных изоляторов) произведены на головном предприятии Львовской фирмы «Радуга». Эти испытания показали, что по химической устойчивости темные бутылки удовлетворяют требованиям ГОСТ 1103-50, а по механической прочности и термостойкости выше требований ТУ 1103-55. На том же предприятии в полупроизводственных условиях было сварено стекло на основе липарита и изготовлена партия темной стеклотары и низковольтных изоляторов. Таким образом, стеклотарные заводы, в частности Свалявский стеклотарный завод, в Закарпатье с успехом могут использовать стекловатые липариты для производства темной стеклотары.

Большие исследовательские работы в области технологии получения минеральной ваты из горных пород в лабораторных и заводских условиях проведены лабораторией теплоизоляционных материалов НИИСМИ. Этими исследованиями определена пригодность различных стекловатых вулканических пород Закарпатья, Западного Забайкалья и Киргизии для использования в качестве сырья для получения длиноволокнистой минеральной ваты, обладающей высокими теплоизоляционными свойствами и сравнительно простой технологией переработки.

Ниже приводятся составы шихты липаритов, лавобрекчий, перлитов, кварцевых порфиров и известняков (табл. 2).

Лабораторией облицовочной керамики НИИСМИ проведены исследования по определению пригодности липаритов как сырья для получения цветных легкоплавких глазурей. Липариты по предварительным данным оказались пригодными для получения глазурей светлых тонов. Получены глазури следующих составов (в вес. %): глухая глазурь — липарит 47,5, бура 30, циркон 15, мел 7,5; глазурь прозрачная — липарит 57,5, бура 30, циркон 5, мел 7,5.

Дальнейшие исследования могут определить направление использования липаритов в качестве сырья для получения глазурованных покрытий облицовочных керамических плиток светлых тонов в производственных масштабах.

Следующим направлением использования дробленого липарита может быть применение его в качестве отощителя для керамических масс. Проведенными исследованиями на Киевском экспериментально-исследовательском заводе НИИСМИ совместно с Черновицкой лабораторией

Таблица 2

## Состав шихты и свойства изделий

Месторождение	Исходные компоненты	Модуль кислотности ( $M_K$ ), %	Объемный вес минеральной ваты, кг/м <sup>3</sup>	Термическая устойчивость минеральной ваты, °С
Пеликан (Береговское холмогорье, Закарпатье)	Липарит—60 Известняк—40	1,47	97	750
То же	Туф—50 Известняк—50	1,60	90	820
» »	Перлит—48 Известь—42	1,59	80	820
Счастлиное, Выгорлат-Гутинская гряда	Стекловатая лавобрекчия—53 Известняк—47	1,55	85	850
Мухор-Тала, Западное Забайкалье	Липарит—44 Известняк—56	1,40	90	800
То же	Лавобрекчия—56 Известняк—50	1,62	88	820
» »	Стекловатая порода (отходы при добыче)—48 Известняк—52	1,60	95	820
Куйская долина, Чиргизская ССР	Кварцевый порфир—50 Известняк—50	1,77	98	820

промстройматериалов установлено, что липариты горы Пеликан пригодны к использованию в качестве отощителя при производстве керамических масс, применяемых для стеновых материалов.

Микроскопические исследования обожженных при 950°С образцов, изготовленных из легкоплавкой карбонатной глины и липарита, показали, что последний является полноценным заменителем шамота. Наблюдается взаимодействие основной массы с отощителем. Легкоплавкие карбонатные глины при температуре 980° также дают усадку по величине не меньшую, чем липарит, способствуя тем самым постоянному контакту между отощителем и основной массой. Карбонаты и окислы железа в глинистой массе и шелоци в липарите дают возможность протекать реакциям в твердой фазе. Совершенно обратная картина наблюдается в обожженных образцах из часовярской глины, которая при температуре обжига 980°С имеет еще очень малую усадку, гораздо меньшую, чем липарит. Это приводит к тому, что вместо сцепления зерен липарита с основной массой происходит ее отделение и образование пустотных оболочек вокруг зерен отощителя. Пустотная оболочка вокруг зерен липарита препятствует протеканию реакций в твердой фазе. Исходя из этого, нельзя рекомендовать липарит в качестве отощителя для часовярской глины при температурах обжига до 1000°С. Вопрос о взаимодействии липарита и часовярской глины при температурах выше 1000°С требует изучения.

Изложенное позволяет сделать вывод, что липарит горы Пеликан является полноценным отощителем в керамических массах из легкоплавких глин, огневая усадка которых существенно не отличается от усадки липарита при данной температуре обжига.

Введение в шихту 15% липарита снижает формовочную влажность и тем самым сокращает срок сушки, а также коэффициенты чувствительности к сушке, воздушной и общей усадке. Кирпич из высокопластичной глины с добавкой 15% липарита, обожженный при температуре 1000°С, по всем показателям удовлетворяет требованиям ГОСТ 500-54 и соответствует марке 75. Таким образом, керамические заводы, рабо-

гающие на легкоплавких пластичных глинах, с успехом могут использоваться липариты в качестве отощителя керамических масс.

В лаборатории легких бетонов и минерального сырья НИИСМИ проводились исследования по использованию липаритов и туфов для производства кампорита — легкого искусственного заполнителя бетонов. Результаты, полученные при испытании проб липарита и туфа куполов Пеликан и Варна на полузаводской установке НИИСМИ, показали, что эти породы пригодны для получения из них легкого заполнителя-кампорита с объемно-насыпным весом щебня (фракция 10—20 мм) 550 кг/м<sup>3</sup>; (5—10 мм) — 600 кг/м<sup>3</sup>; песка (0—0,5 мм) — 650—700 кг/м<sup>3</sup>.

Для кампорита, полученного из туфа и липарита различных месторождений, характерны следующие свойства: объемный вес для фракции 10—20 мм 329—535 кг/м<sup>3</sup>; 5—10 мм — 392—655 кг/м<sup>3</sup>; <5 мм — 613—875 кг/м<sup>3</sup>. Удельный вес 0,8—1,2 г/см<sup>3</sup>. Водопоглощение 16,5—40,7%. Предел прочности 3,2—12,7 кг/см<sup>2</sup>.

В НИИСМИ в настоящее время проводятся исследования в области использования липаритов как исходного сырья при производстве стеновых силикатных материалов с автоклавной обработкой. Первые опыты в этом отношении дали положительные результаты.

Плотные разновидности липаритов могут широко использоваться в качестве естественного крупного и мелкого заполнителя бетонов, штукатурных и кладочных растворов, а также бутового камня для местного строительства.

Следует сделать вывод, что липариты, туфы, различные туфовидные и другие родственные им вулканические породы, развитые во всех вулканических областях Советского Союза, должны рассматриваться как полезные ископаемые, обладающие целым рядом положительных особенностей.

Научно-исследовательский институт  
строительных материалов и изделий (г. Киев)

Г. И. ЕВОРЕНКО

## БАРОТЕРМАЛЬНЫЙ СПОСОБ ВСПУЧИВАНИЯ ПЕРЛИТА

В связи с расширением сферы применения перлитобетона для ограждающих конструкций возникают новые требования к вспученному перлиту. Наиболее важный фактор, определяющий качество перлитобетонов, — гранулометрический состав перлитового заполнителя, его прочность и объемный вес. Однако если получение мелких фракций не вызывает трудностей, то получение легкого перлитового щебня крупнее 20 мм весьма затруднительно. Увеличение крупности частиц, подвергающихся термообработке, как правило, приводит к увеличению количества трещин, снижению прочности и повышению объемного веса вспученного перлита. Необходимо отметить, что процесс вспучивания перлита на действующих установках довольно трудно поддается регулированию.

Основное условие эффективного протекания процесса вспучивания перлита — совпадение интенсивного выделения газов с переходом вещества в пиропластическое состояние. Создание оптимальных условий для вспучивания обеспечивается максимальным сближением во времени этих

основных технологических факторов. Такое сближение осуществляется повышением температуры с одновременным сокращением продолжительности обжига. Кроме того, этому способствует соответствующая подготовка сырья: его предварительная термообработка, обязательная для многих перлитов, и уменьшение размеров частиц.

Стремясь сблизить процессы перехода материалов в пиропластическое состояние и интенсивное выделение газов, все исследователи почему-то не обращали внимания на возможность разделения этих факторов. В то же время подмечено, что внешнее давление оказывает тормозящее влияние на процесс вспучивания. Так, еще в 1937 г. М. П. Волярович и А. А. Леонтьева показали, что камчатский обсидиан, дававший при нормальном давлении высокопористый продукт, при давлении 15 атм плавился без вспучивания. Интересно, что в обсидиане, расплавленном и охлажденном под давлением, сохранилась вода, которая при повторном нагревании при атмосферном давлении выделилась и вспучила материал.

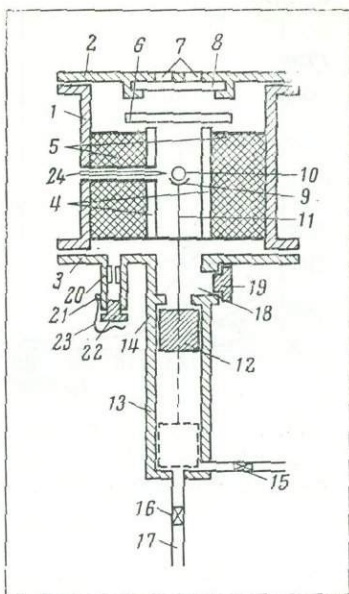
Основываясь на исследованиях влияния давления на процесс вспучивания, был предложен баротермальный способ вспучивания перлита. При этом перлит нагревается до пиропластического состояния под давлением (поэтому в нем сохраняется вода), а затем давление снимается и выделившаяся в виде пара вода вспучивает материал. Этот процесс можно рассматривать как сумму элементарных процессов увеличения объема отдельных газовых пузырьков, зародившихся в расплаве. Возможные изменения состояния этих пузырьков характеризуются уравнением

$$P_{\text{пор}} = P_1 + \frac{2\sigma}{r},$$

где  $P_{\text{пор}}$  — порообразующее избыточное давление внутри пузырька;  $P_1$  — внешнее давление на газовый пузырек;  $\sigma$  — поверхностное натяжение на границе расплава и газа;  $r$  — радиус пузырька.

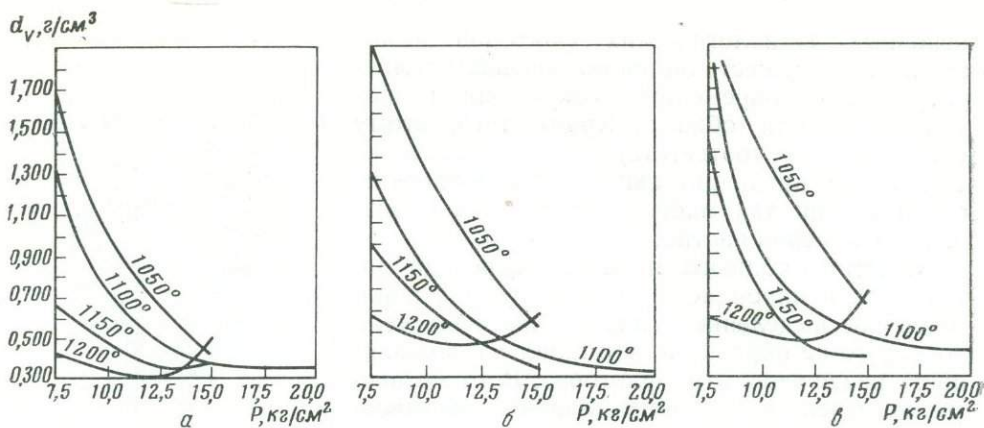
Снятие давления нарушает равновесие системы: происходит выделение паров, которые образуют в пластичном материале большое количество газовых пузырьков. Ослабление поверхностного натяжения при повышении температуры и увеличение избыточного порообразующего давления (внутри пузырька) при вспучивании способствуют увеличению размеров пор. Можно сказать, что при баротермальном способе, затормозив выделение воды, мы имеем возможность довести пластичность материала под действием температуры до нужной величины, а затем, сняв давление, включить механизм вспучивания. Таким образом, появилась возможность производить вспучивание материала, имеющего оптимальную пластичность.

Для испытания баротермального способа вспучивания перлита применена лабораторная установка, состоящая из автоклава и помещенной в него электропечи. Однако выяснилось, что производительность такой



Фиг. 1. Схема усовершенствованной лабораторной установки для вспучивания перлита баротермальным способом

1—корпус автоклава; 2—верхняя крышка автоклава; 3—нижняя крышка автоклава; 4—электропечь; 5—теплоизоляция; 6 и 8—кварцевое стекло; 7—смотровое стекло; 9—держатель для образца; 10—образец; 11—шток; 12—поршень; 13—цилиндр; 14—дополнительная камера; 15—спускной кран; 16—подающий кран; 17—воздуховод; 18—загрузочное отверстие; 19—затвор; 20—спускной штуцер; 21—сменная напель; 22—пробка; 23—защелка; 24—термопара



Фиг. 2. Изменение объемного веса перлита при баротермальном вспучивании при температурах: 1050, 1100, 1150, 1200°

*a* — мухор-талинского; *б* — закультинского зеленого; *в* — чернышевского

установки очень низкая, так как трудно создать стабильные условия для дублирования испытаний и нельзя наблюдать поведение образца в процессе испытания.

Лабораторная установка новой конструкции (фиг. 1) в значительной степени лишена указанных недостатков. Она представляет автоклав, верхняя и нижняя крышки которого съемные. Внутри автоклава находится печь, отделенная от его стенок теплоизоляцией. В верхней крышке автоклава имеются окна для визуального наблюдения, фотографирования, подсветки исследуемого образца. Эти окна герметически закрыты кварцевым стеклом.

Предметный столик для испытуемых образцов через шток соединен с поршнем, перемещающимся по цилиндру, прикрепленному к нижней части дополнительной камеры автоклава. Регулировка движения поршня осуществляется сжатым воздухом. В одной из стенок дополнительной камеры имеется загрузочное отверстие, герметически закрываемое затвором. На нижней крышке автоклава находится устройство для снятия давления, состоящее из штуцера, внутреннее сечение которого изменяется ввинчиванием сменного ниппеля. Свободный конец штуцера закрывается пробкой, которая фиксируется защелкой. На цилиндрической крышке автоклава находятся манометр, предохранительный клапан, штуцер для подачи воздуха, пара или газа, контакты терморпары и электросети.

Работа на описанной установке производится в следующем порядке. В печи создается заданная температура. Через загрузочное отверстие на предметный столик, опущенный в крайнее нижнее положение, укладывается испытуемый образец. Затем отверстие закрывается затвором. После создания в автоклаве заданного давления предметный столик с образцом поднимается в крайнее верхнее положение. После выдержки, обусловленной программой эксперимента, давление в автоклаве снимается. Скорость снятия давления можно варьировать, применяя сменные ниппели с различным внутренним диаметром. Изменения, происходящие с образцом, наблюдаются визуально и при необходимости фотографируются через смотровое окно. По окончании эксперимента предметный столик опускается и образец извлекается.

В результате проведенных исследований установлено, что объемный вес вспученного перлита зависит от температуры и давления при термообработке; эта зависимость для некоторых перлитов показана на фиг. 2. Замечено, что повышение влажности среды положительно влияет на

процесс вспучивания. Повышая скорость порообразования, т. е. скорость снятия давления, также повышаем эффективность процесса.

Интересно сравнить перлит, вспученный баротермальным способом, с перлитом того же месторождения, но вспученным обычным способом при двухстадийной термообработке (см. таблицу). При одинаковом объеме весе первый перлит оказался прочнее второго. Баротермальным способом можно получить и перлитовый щебень с меньшим объемным весом и большей крупностью гранул.

#### Влияние режима термообработки на вспучиваемость перлита

Месторождение	Двухстадийная схема вспучивания					Баротермальный способ				
	размер гранул, мм	$K_B^*$	объемный вес в куске, г/см <sup>3</sup>	пористость		размер гранул, мм	$K_B$	вес в куске, г/см <sup>3</sup>	пористость	
				открытая	истинная				открытая	истинная
Чернышевское . .	20	3,0	0,76	21,2	68,3	50	5,4	0,43	12,0	82,1
Мухорталинское	25	5,9	0,39	44,3	82,9	50	7,7	0,30	22,1	87,0
Закультинское (зеленая разновидность) . . . . .	20	2,9	0,77	27,0	67,5	65	6,5	0,35	14,2	85,4
То же (черная разновидность) . . . . .	20	2,8	0,79	26,2	65,9	60	6,5	0,35	12,4	85,2
То же (красная разновидность) . . . . .	15	2,6	0,88	28,0	62,2	35	6,1	0,37	18,7	84,4
Подхурторское . .	15	4,9	0,51	21,7	79,6	25	6,5	0,38	12,6	85,1

\*  $K_B$  — коэффициент вспучивания.

Баротермальный способ тем эффективнее, чем слабее вспучивается перлит в обычных условиях (при высокой температуре и атмосферном давлении). Так, если для хорошо вспучивающегося мухорталинского перлита разница в величине объемного веса образцов, полученных обоими методами, составляет всего 0,09 г/см<sup>3</sup>, то для плохо вспучивающихся черного и красного закультинских перлитов эта разница соответственно составляет 0,44 и 0,5 г/см<sup>3</sup>. При оптимальных условиях крупность зерен перлита, вспученного баротермальным способом, значительно превышает размеры зерен перлита, вспученного по двухстадийной схеме термообработки.

Отмечена также большая механическая прочность перлита (сдавливание зерен в стальном цилиндре с  $d=120$  мм), полученного баротермальным способом. Так, для мухорталинского перлита для фракции 5—10 мм временное сопротивление сжатию  $R_{сж} = 14$  кг/см<sup>2</sup>,  $d_v = 250$  кг/м<sup>3</sup> и для фракции 10—20 мм  $R_{сж} = 18,3, 25, 30,5$  и  $37$  кг/см<sup>2</sup> при  $d_v$  соответственно равным 284, 352, 420 и 500 кг/м<sup>3</sup>. Тот же перлит, вспученный в процессе двухстадийного обжига во вращающихся печах, имеет следующие свойства: для фракции 5—10 мм  $R_{сж} = 8$  кг/см<sup>2</sup>,  $d_v = 280$  кг/м<sup>3</sup> и для фракции 10—20 мм  $R_{сж} = 12$  и  $31$  кг/см<sup>2</sup>,  $d_v$  соответственно равно 320 и 700 кг/м<sup>3</sup>.

Баротермальный способ вспучивания перлита основан на способности вулканических стекол удерживать в своем составе воду, если нагревание их до пиропластического состояния производится при повышенном давлении. При снятии давления происходит выделение воды и вспучивание материала. Вспучивание может быть осуществлено в любой момент технологического процесса.

Применяя баротермальный способ, можно вспучивать перлит в зависимости от требований, предъявляемых к готовому продукту. Изменяя температуру, давление, скорость снятия давления, состав среды, можно обеспечить оптимальные технологические режимы для получения перли-

та с заранее заданными свойствами. Таким образом, не только появляется возможность свободного регулирования процесса вспучивания перлита, но и отпадает необходимость предварительной термоподготовки сырья с высоким содержанием воды.

Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что баротермальный способ вспучивания может быть применен при изучении свойств вулканических стекол и в промышленном производстве вспученного перлита.



Н. Я. СПИВАК, М. Т. СЕДАКОВА

### **ПРИМЕНЕНИЕ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ И БЛИЗКИХ К НИМ ГОРНЫХ ПОРОД В ИНДУСТРИАЛЬНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ**

Возрастающие масштабы капитального строительства в СССР требуют затраты большого количества стеновых материалов для индустриальных наружных ограждающих конструкций. Производство стеновых материалов должно возрасти за пятилетку на 60% и достигнуть 80 млрд. штук условного кирпича. Один из путей решения все обостряющейся проблемы массового производства стеновых материалов — расширение применения легких бетонов на пористых заполнителях. К 1970 г. производство пористых заполнителей по сравнению с 1967 г. увеличится в 2,5 раза и будет составлять 20 300 тыс. м<sup>3</sup> в год, в том числе естественные пористые заполнители до 3,5 тыс. м<sup>3</sup> в год. Намеченный прирост производства природных заполнителей отражает недостаточный учет возможностей использования естественных сырьевых ресурсов страны для восполнения дефицита стеновых и конструктивных строительных материалов.

Естественные пористые заполнители и стеновые камни целесообразно получать путем добычи и сортировки стекловатых вулканических пород, к которым относятся вулканические шлаки, пемзы, туфы.

Осадочные пористые породы — известковые туфы, пористые мергели, опоки — менее эффективны в качестве стеновых материалов, а в большинстве своем и вовсе непригодны как заполнители бетона. Стеновые естественные камни должны иметь объемный вес 1200—1600 кг/м<sup>3</sup> при прочности на сжатие 25—200 кг/см<sup>2</sup>. Породы для производства пористых заполнителей должны обеспечить объемный насыпной вес щебня менее 800 кг/м<sup>3</sup> или объемный вес до 1300 кг/м<sup>3</sup>.

Большой интерес представляют пористые вулканические породы, которые хорошо поддаются распиловке на облицовочные плиты, обладающие, как правило, долговечностью и высокими архитектурно-художественными качествами. Содержание стекла во всех встречающихся вулканических пористых породах благоприятствует теплоизоляционному эффекту легких бетонов на этих естественных заполнителях. По данным исследований, проведенных в Научно-исследовательском институте строительной физики (НИИСФ), Центральном научно-исследовательском институте проектирования жилищ (ЦНИИЭПжилища), Штутгартском институте технической физики Каммерера (ГДР), это свойство позволяет получать очень прочные и стойкие бетоны слитной структуры для тонких стен с повышенной теплозащитной способностью по сравнению с бетонами на искусственных пористых заполнителях. Положительной особенностью стеклосодержащих естественных и

вспученных заполнителей вулканического происхождения является их гидравлическая активность.

Растворимые кремнезем и глинозем пористого заполнителя на контактах зерен вступают в химическое взаимодействие со свободной известью и минералами цемента, создавая в бетоне новообразования, увеличивающие объем и улучшающие качество вяжущего вещества. Мелкие и дисперсные естественные вулканические пески и пеплы успешно используются как пуццоланизирующие добавки к клинкерному цементу и, по существу, непосредственно заменяют в народном хозяйстве портландский цемент.

Особый интерес для капитального строительства представляют плотные вулканические стекла — перлиты, обсидианы, витрофиры и другие породы, которые при термической обработке вспучиваются, превращаясь в высокоэффективные пористые заполнители для некоторых разновидностей легких бетонов.

К данному времени разработан ряд типовых проектов установок по производству вспученного перлитового щебня и песка производительностью 15—50 тыс. м<sup>3</sup> в год (табл. 1).

Таблица 1

Основные проектные данные типовых установок по производству вспученного перлита

Типовой проект	Конструктивные особенности	Производительность, тыс. м <sup>3</sup> /год	Сметная стоимость			Организация
			общая, тыс. руб	в том числе общестроительные работы, тыс. руб	вспученного перлита, руб/м <sup>3</sup>	
4-09-907	Транспортабельная установка	20 (песок)	13,74	—	3,92 (песок)	«Теплопроект»
04-09-43	Две вращающиеся печи	50 (щебень)	317	165	8,94 (щебень) 4,81 (песок)	То же
04-09-43	Две вертикальные печи	50 (песок)	240	148	3,96 (песок)	» »
4-09-783/63	Открытая установка	30 (щебень) 15 (песок)	154	69	3,75 (песок)	НИИСМИ, УССР
4-09-784/63	Закрытая установка	30 (щебень) 15 (песок)	160	76	4,6 (щебень)	То же

Из таблицы следует, что капиталовложения на строительство установок резко различаются, наибольшие — по проекту 04-09-43 (1-й вариант). Это связано с тем, что в этом случае предусматривается размещение установки в крытом капитальном цеху с универсальным пролетом.

Наименьшие капиталовложения приходятся на установки типовых проектов 4-09-783/63 и 4-09-784/63, из которых первая — открытая, а вторая расположена под навесом. Учитывая многолетний опыт эксплуатации установки по вспучиванию перлита в г. Шелехове Иркутской области, можно сделать вывод, что нет необходимости размещать печи в капитальных зданиях. Печи и склады сырья вполне возможно размещать под навесами, а вспученный перлит необходимо хранить в бункерах.

Проектная стоимость вспученного перлитового песка варьирует от 3 руб 75 коп до 4 руб 81 коп и щебня от 4 руб 60 коп до 8 руб 94 коп.

Фактическая стоимость 1 м<sup>3</sup> вспученного перлитового песка составила в 1965 г. 4 руб 75 коп (г. Калущ, УССР), а перлитового щебня — 8 руб 50 коп, 10 руб (г. Шелехов, Иркутская обл.).



Для снижения стоимости вспученного перлита необходимо совершенствовать технологию производства вспученного перлита, а также разработать проекты печей с более высокой производительностью, чем существующие (100 тыс. м<sup>3</sup> в год и больше).

Основные свойства вспученного перлита эксплуатируемых и разведанных в настоящее время месторождений Мухор-Талинского (Бурятская АССР), Арагацкого (Армянская ССР), Ардовского (Закарпатье), а также Богопольского (Приморский край) и Параванского (Грузинская ССР) месторождений изучены в ЦНИИЭП жилища и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Основные показатели вспученного перлитового щебня различных месторождений

Месторождение	Размер, мм	Коэффициент формы $K_{\Phi}^*$	Насыпной вес, кг/м <sup>3</sup>	Удельный вес, г/см <sup>3</sup>
Арагацское (Армянская ССР) . . . . .	10—20	1,15	150	1,7
Мухор-Талинское (Бурятская АССР) . .	10—20	1,58	370	1,61
Ардовское (Закарпатье) . . . . .	5—10	1,46	340	2,02
Богопольское (Приморский край) . . . .	10—20	1,20	370	1,79

\*  $K_{\Phi}$ —коэффициент формы= $d_{\max}/d_{\min}$ , где  $d_{\max}$ —наибольший,  $d_{\min}$ —наименьший размер зерна.

Преимущество вспученного перлитового заполнителя по сравнению с другими искусственными пористыми заполнителями заключается в том, что при вспучивании во вращающихся печах вместе с щебнем получают необходимое количество песка, тогда как при обжиге керамзита и аглопорита образуются лишь крупные фракции, что вызывает необходимость дополнительного дробления керамзитового гравия и аглопоритового щебня. Перлитовый песок гидравлически активен и вступает в химическую реакцию с цементом. Проблему вспучивания перлита нельзя считать решенной. Еще не найдены способы регулирования скорости и степени обжига. При современных способах обжига вспученный перлитовый песок и щебень различных месторождений отличается по насыпному весу, пористости и прочности; наиболее легкий и менее прочен перлит Армянских месторождений, наиболее тяжел и более прочен перлит месторождений восточной части Союза.

Водопоглощение перлита в первые 15 мин составляет 80—90 % водопоглощения за 24 час, равного 25—62 % веса заполнителя. Водопоглощение вспученного перлита возрастает с уменьшением насыпного объемного веса и величины зерен. Водопоглощение перлита во многом определяет особенности перлитобетонной смеси и уже отвердевшего перлитобетона.

Из всех видов изученных вспученных перлитов наиболее морозостоек и химически инертен перлит Мухор-Талинского месторождения. Вспученные на основе пород этого месторождения перлиты позволяют получить высокоэффективные теплоизоляционные легкие бетоны ( $\lambda \leq 0,18$  ккал/м·час·град) для теплоизоляции поверхностей с температурой до 800°С, а также для утепляющих слоев слоистых наружных стен и совмещенных крыш.

Теплоизоляционно-конструктивный перлитобетон ( $R_{сж} = 50$  кг/см<sup>2</sup>,  $700 < d_v < 1200$ ;  $0,18 < \lambda < 0,45$  ккал/м·час·град) апробирован в массовом применении в крупнопанельных конструкциях однослойных стен жилых и промышленных зданий для всех климатических зон СССР.

Конструктивный перлитобетон позволяет получить особо легкие несущие конструкции межэтажных перекрытий и покрытий, несущих внутренних стен и перегородок.

Мелкозернистый перлитобетон эффективен и практически незаметен как материал для звукопоглощающих покрытий поверхностей помещений общественных зданий в целях улучшения их акустических свойств.

На основании большого количества экспериментальных работ, выполненных в лаборатории и подтвержденных в производственных условиях, установлено, что для получения перлитобетона с минималь-

Пористость, кусков щебня, %	Объемный вес в кулке, кг/м <sup>3</sup>	Межзерновая пустотность по объему, %	R <sub>сж</sub> , при сжатии в цилиндре, кг/см <sup>2</sup>	Водопоглощение в % по весу		Силикатостойкость, %	Стойкость железистого распада (потери в весе), %
				15 мин	24 час		
85	532	53	4,3	58	62	1,56	4,91
77	685	46	8	31	37	0,99	2,57
83	630	46	5,1	50	52	1,2	2,91
79	770	52	6	21	25	0,99	3,32

ным объемным весом заданной прочности особое внимание должно быть обращено на подбор гранулометрического состава заполнителя и необходимого количества воды при наименьшем расходе цемента.

В результате изучения влияния гранулометрического состава и объемного веса перлита на прочность и объемный вес перлитобетона в ЦНИИЭПжилица установлено, что для конструктивно-теплоизоляционных бетонов оптимальна предельная крупность гранул 20 мм при насыпном объемном весе щебня и перлитового песка 300 кг/м<sup>3</sup>.

Для обеспечения теплозащитных свойств конструкции предпочтительны прерывистый зерновой состав с исключением фракций 1,2—5 мм и с повышенным содержанием перлитового щебня (40—45 % по объему). Для конструктивного перлитобетона наилучшие результаты получены на перлите предельной крупности 20 мм при непрерывном гранулометрическом составе с дополнительным введением в состав смеси дробленого перлитового песка.

Исследования показали, что дробленый перлитовый песок — активная гидравлическая добавка, которая позволяет снижать расход цемента до 40 %.

Теплоизоляционные перлитобетоны минимального объемного веса получены на перлите Арагацкого месторождения, конструктивно-теплоизоляционные бетоны с минимальным весом — на перлите Мухур-Талинского месторождения. Основные расчетные характеристики перлитобетона приведены в табл. 3 и 4.

Опытами установлено, что зависимость прочности перлитобетона от расхода воды при заданном режиме уплотнения можно выразить кривой: левая ветвь характеризует бетон с недостатком воды, правая — с избытком воды, экстремум кривой соответствует расходу воды, при котором прочность бетона является наибольшей. Водопотребность смеси зависит от гранулометрического состава заполнителя. Так, например, водопотребность крупнопористого бетона меньше, чем плотного, а мелкозернистого больше, чем крупнозернистого. Большой водо-

Таблица 3

Основные расчетные характеристики сопротивления перлитобетона, кг/см<sup>2</sup>

Вид напряженного состояния	Проектная марка					
	35	50	75	100	150	200
	максимальный объемный вес в высушенном состоянии, кг/см <sup>3</sup>					
	700	800	900	1000	1200	1600
начальный модуль упругости, кг/см <sup>2</sup>						
	30 000	45 000	55 000	70 000	85 000	100 000
Сжатие осевое (призменная прочность) . . . . .	14	20	30	44	65	80
	12,5	18	27	40	60	70
Сжатие при изгибе . . . . .	17,5	25	37	55	80	100
	16	22	33	50	70	90
Растяжение осевое . . . . .	1,4	1,6	2,2	2,7	3,5	4,5
	1,2	1,5	1,9	2,4	3,1	3,9

Примечание. Числитель—значения для железобетонных конструкций, знаменатель—для бетонных.

Таблица 4

## Расчетные коэффициенты теплопроводности перлитобетона

Условия эксплуатации	Средний объемный вес, кг/м <sup>3</sup>								
	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
А	0,07	0,09	0,12	0,15	0,18	0,21	0,23	0,27	0,30
Б	0,10	0,12	0,15	0,19	0,22	0,27	0,28	0,32	0,35

Примечание. А—для зданий, расположенных в сухой и нормальной зоне с сухим влажностным режимом помещения, а также для зданий в сухой зоне с нормальным режимом. Б—для зданий во влажной зоне с сухим режимом помещения, в нормальной зоне с нормальным режимом помещения, а также для зданий с влажным режимом помещения, строящихся в сухой зоне.

потребностью обладают бетонные смеси на вспученном перлите Арагацского и Ардовского месторождений.

В результате испытания более 100 образцов установлено, что перлитобетон — морозостойкий материал. Морозостойкость перлитобетона ( $MPZ > 15$ ) обеспечивается плотной структурой при расходе портландцемента марки 400 не менее 180 кг/м<sup>3</sup>. При более низких расходах цемента морозостойкость перлитобетона можно повысить, применяя 15—20% негашеной извести или 0,3% гипса (и то и другое от веса цемента). Предельная растяжимость перлитобетона при изгибе составляет 0,315 мм/м. Коэффициент паропроницаемости перлитобетона с объемным весом 850—1150 кг/м<sup>3</sup> примерно равен коэффициенту паропроницаемости керамзито-бетона (исследования НИИСФ). Модуль динамичности перлитобетона примерно равен модулю динамичности тяжелых бетонов.

Испытания на долговечность стеновой панели из перлитобетона марки 50, проведенные НИИСФ при переменном многократном одностороннем замораживании и оттаивании (температура наружного воздуха от  $-39$  до  $+30^\circ$ , внутри помещения  $+18^\circ$ ), показали, что перлитобетон — достаточно долговечный материал.

Для перлитобетонных смесей заданных гранулометрического состава и виброукладываемости зависимость прочности бетона от расхода цемента можно принимать прямолинейной.

В связи с тем, что цементный камень — самый тяжелый компонент в перлитобетонной смеси, целесообразно применять портландцемент высокой активности (марки 400 и выше).

Перлитобетон по своим физико-техническим свойствам весьма эффективен для крупнопанельных конструкций зданий. Теплоизоляционно-конструктивный перлитобетон прочностью 50—75 кг/см<sup>2</sup> с объемным весом в стандартном состоянии 800—1100 кг/м<sup>3</sup> апробирован

Таблица 5

Условия применения перлитобетонных панелей в наружных стенах

Толщина панели, см	Объемный вес перлитобетона, кг/м <sup>3</sup>	Сопrotивление теплопередачи, м <sup>2</sup> ·час/град·ккал	Температурный предел применения при зимней расчетной температуре, град	Толщина панели, см	Объемный вес перлитобетона, кг/м <sup>3</sup>	Сопrotивление теплопередачи, м <sup>2</sup> ·час/град·ккал	Температурный предел применения при зимней расчетной температуре, град
25	700	1,35	-26	35	1000	1,19	-28
	800	1,21	-28		700	1,9	-54
30	700	1,65	-46		800	1,63	-45
	800	1,42	-36		900	1,48	-38
	900	1,29	-31		1000	1,35	-36

Таблица 6

Характеристика перлитобетонных панелей

Показатели	Объемный вес перлитобетона, кг/м <sup>3</sup>		
	700	800	900
Толщина стен, см . . . . .	18	22	24
Сопrotивление теплопередачи, м <sup>2</sup> ·час/град·ккал . . . . .	1,183	1,183	1,183
Вес 1 м <sup>2</sup> панели, кг . . . . .	126	176	216
Вес панели размером 3,2×2,6 м без оконного проема, кг	1050	1450	1800
Необходимая грузоподъемность крана, т . . . . .	1,5	1,5	3,0
Вес панели размером 5,8×2,6 м <sup>2</sup> на две комнаты с оконным проемом, кг . . . . .	1350	1880	2300
Необходимая грузоподъемность крана, т . . . . .	3	3	3
Расход на 1 м <sup>2</sup> панели стали, кг . . . . .	2,5	2,5	2,7
То же, цемента, кг . . . . .	36	50	58

как строительный материал в крупнопанельных конструкциях однослойных стен жилых и промышленных зданий в условиях Восточной Сибири.

Панели наружных стен из перлитобетона конструируются однослойными. В табл. 5 приведены условия применения перлитобетонных панелей толщиной 25, 30 и 35 см в зависимости от расчетных температур наружного воздуха при температуре внутреннего воздуха +18°С.

Применение перлитобетона в наружных однослойных стеновых панелях позволяет уменьшить толщину стены в 2 раза, а вес в 5 раз по сравнению с кирпичными. Вес перлитобетонных стен на 10 % меньше веса стен из трехслойных железобетонных панелей.

Основные показатели по перлитобетонным панелям наружных стен для жилых домов с расчетной внутренней температурой +18°С и наружной -20°С приведены в табл. 6.

Данные табл. 6 свидетельствуют о том, что из перлитобетона с объемным весом до 900 кг/м<sup>3</sup> можно изготовить панели на две комнаты и монтировать их краном грузоподъемностью 3 т.

Однослойные перлитобетонные панели армируются сварными каркасами, располагаемыми по наружному контуру, а в панелях с проемами — по периметру проемов.

Принимаемая толщина защитного слоя бетона для арматуры панелей наружных стен не менее 20 мм.

Однослойные панели из перлитобетона имеют наружный фактурный слой, изготовленный на вспученном перлитовом песке, на внутренней стороне отделочный слой может отсутствовать.

Панели наружных стен жилых зданий размером  $3,2 \times 2,8 \times 0,25$  м из перлитобетона марки 50 испытаны на горизонтальные и вертикальные нагрузки, панели промышленных и общественных зданий размером  $6 \times 1,5 \times 0,2$  м из перлитобетона марки 75 — на изгиб в своей плоскости и на ветровую нагрузку. Результаты испытаний панелей для жилых домов приведены в табл. 7.

Таблица 7

Основные результаты испытаний на прочность перлитобетонных панелей наружных стен жилых зданий

Ширина (b), высота (h), толщина (d) панели, см	Гиб- кость	Эксцен- трици- тет, см	Прочность куба $R_{куб}$ , $кг/см^2$	Призменная прочность, $R_{пр}$ , $кг/см^2$	Разрушаю- щая нагрузка $R_{ф}$ , т	Нагрузка при появлении трещин $R_{тр}$ , т	$\frac{R_{тр}}{R_{ф}}$	$d_v$ , $кг/м^3$
На вертикальную нагрузку								
$258 \times 100 \times 10$	7,65	2	41 (27,5)	33	47,24	35,94	0,76	—
$267 \times 100 \times 10$		0	43 (22,8)	34	76,74		0,46	886
$35 \times 10 \times 5$		0	34 (20)	27	86,94		0,42	—
На горизонтальную нагрузку								
$258 \times 100 \times 10$	7,65	0	87	70	33,5	12	0,36	940
$268 \times 100 \times 10$		—	75	60	26,3		0,46	820

Примечание. Цифры в скобках обозначают прочность перлитобетона по результатам испытания кубов, выпиленных из панели.

В настоящее время в отечественной и зарубежной строительной практике находят применение внутренние ограждающие конструкции из легких бетонов, что приводит к экономии арматурной стали и цемента, а также к снижению веса зданий. Внутренние ограждающие конструкции наряду с прочностью и жесткостью должны обладать звукоизолирующими свойствами.

В соответствии с действующими нормами объемный вес  $1 м^2$  ограждающей конструкции из бетона должен быть не менее  $350 кг/м^3$ . Многочисленные эксперименты показали, что для обеспечения звукоизоляции от воздушного шума при применении легкого бетона в акустически однородных стенах и перегородках объемный вес  $1 м^2$  ограждения может составлять лишь  $300 кг/м^3$ , так как легкий бетон обладает лучшей звукоизолирующей способностью, чем ограждения такого же веса, но из тяжелого бетона. Исследованиями установлено, что воздушная прослойка увеличивает звукоизолирующую способность конструкций.

В акустической камере НИИСтройфизики были проведены измерения звукоизоляции перегородок из перлитобетона. Установлено, что для обеспечения нормативных требований по звукоизоляции перлитобетонные межквартирные перегородки в квартирах посемейного заселения должны состоять из двух панелей, каждая толщиной по 8 см с воздушной прослойкой 6 см, а межкомнатные — из одной панели толщиной 12 см.

Для проверки правильности принятых конструктивных решений в тресте Иркутскалюминстрой совместно с ЦНИИЭПжилища в 1961 г. была изготовлена внутренняя стеновая панель из перлитобетона марки 75 объемным весом  $1000 \text{ кг/м}^3$ , размером  $250 \times 600 \times 10 \text{ см}$ . Панель была армирована сварными каркасами, расположенными горизонтально по нижней и верхней сторонам, и вертикальными каркасами на расстоянии 1,1—2,2 м друг от друга. Расход стали на  $1 \text{ м}^2$  панели составил 0,8 кг, а общий расход — 10 кг; вес  $1 \text{ м}^2$  панели составил всего 100 кг.

В лабораториях перекрытий и стен ЦНИИЭПжилища была разработана конструкция панели перекрытия из перлитобетона на комнату,

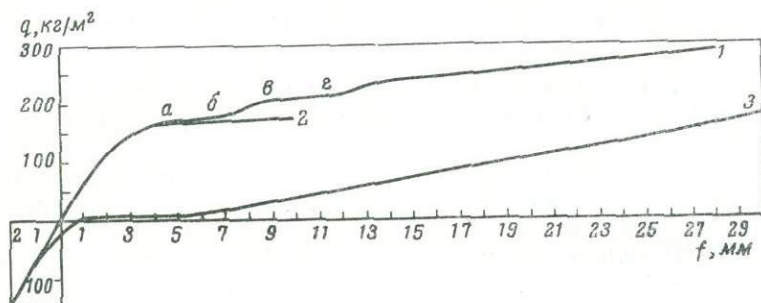


График зависимости прогиба ( $f$ , мм) фрагмента перекрытия из перлитобетона от нагрузки ( $q$ ,  $\text{кг/м}^2$ )

1 — измеренная кривая прогиба; 2 — теоретическая кривая; 3 — кривая, построенная с учетом коэффициента однородности бетона при растяжении 0,45; а, б, в, г — соответствуют значениям  $q$ , при которых замечено появление трещин

опирающаяся по контуру. Опытные образцы размером  $320 \times 40 \text{ см}$  и толщиной 10 см были испытаны на прочность (см. фиг.). Разрушающая нагрузка составила в среднем  $600 \text{ кг/м}^2$ , что в 4 раза превышает нормативную.

В результате проведенных испытаний изгибаемых армированных перлитобетонных конструкций установлены их высокая трещиностойкость и хорошее сцепление арматуры с перлитобетоном.

Опытная панель перекрытия из перлитобетона марки 150 с панельным отдельным полом натуральных размеров была испытана на прочность, жесткость и звукоизоляцию и показала хорошие результаты.

Опытная панель перекрытия размером на комнату толщиной 9 см, опирающаяся по контуру, была изготовлена в г. Шелехове на заводе железобетонных изделий. Панель бетонировалась в горизонтальном положении; для экономии цемента был применен дробленый перлитовый песок, расход цемента составил всего  $250 \text{ кг/м}^3$ , прочность перлитобетона  $104 \text{ кг/см}^2$ . Таким образом, установлена техническая и технологическая возможность применения перлитобетона для внутренних ограждающих конструкций. Значительный интерес в связи с этим приобретает вопрос применения тяжелого перлита, позволяющего улучшить звукоизолирующую способность перлитобетонных конструкций.

Весьма целесообразно использовать перлитобетон в связи с уменьшением горизонтальных сейсмических нагрузок из-за уменьшения веса зданий для строительства зданий и сооружений в сейсмичных районах, где, как правило, имеются месторождения перлита.

Применение в зданиях основных конструкций из перлитобетона (наружные стены из перлитобетона на кондиционном перлите и внутренние конструкции из бетона на тяжелом перлите) снижает вес в 1,5 раза по сравнению с весом зданий обычных конструкций, благодаря чему

Таблица 8

Основные экономические показатели (на 1 м<sup>2</sup>)  
для жилых зданий в сейсмичных районах (при 8 баллах)

Показатели	Дом серии 1-467/306 с наружными стенами в 2,5 кирпича (проект ПИ-5)	Крупнопанельный жилой дом серии 1-464 С (проект Гипростройиндустрии)	Экспериментальный жилой дом из перлитобетона
Вес, кг . . . . .	4036	1664	1049
Затраты труда, чел-день	5,8	4,12	4,12
Стоимость, руб . . . . .	1492	1320	1280

повышается сейсмическая устойчивость зданий. Экономические показатели для четырехэтажных жилых домов в сейсмичных районах приведены в табл. 8.

Из таблицы видно, что вес здания из перлитобетонных панелей почти в 4 раза меньше кирпичного и в 1,5 раза меньше крупнопанельного здания серии 1-464С.

В ЦНИИЭПжилищ совместно с НИИСФ разработаны основы технологии производства конструктивно-теплоизоляционного и конструктивного перлитобетона, крупнопанельные конструкции из перлитобетона для жилищного строительства, а также внедрены в практику строительства стеновые панели из перлитобетона (работы выполнены в содружестве с трестами «Иркутскалюминстрой» и «Главвостоксибстрой»). В г. Шелехове Иркутской области выстроено более 50 жилых

Таблица 9

Технико-экономические показатели стеновых материалов  
наружных стен многоэтажных жилых домов

Показатели	Панели				Кирпичная стена в 2,5 полнотелых кирпича с двухсторонней штукатуркой
	перлитобетонные с объемным весом 800 кг/м <sup>3</sup>	керамзитобетонные с объемным весом 1000 кг/м <sup>3</sup>	однослойные газобетонные неавтоклавного твердения с объемным весом 1200 кг/м <sup>3</sup>	трехслойные бетонные с утеплителем из минераловатных плит с объемным весом 300 кг/м <sup>3</sup>	
Толщина, см . . . . .	26	30	40	35	68
Вес, кг . . . . .	216	324	492	402	1260
Расход основных материалов бетона и раствора, м <sup>3</sup>	0,260	0,300	0,400	0,170	0,232
в том числе:					
стали, кг . . . . .	6,8	7,8	11,5	11,5	2,28
цемента, кг . . . . .	60,0	92,0	99,8	43,6	43,6
Затраты труда, чел-день					
а) всего . . . . .	0,477	0,495	0,555	0,561	1,350
б) на изготовление панели . . . . .	0,262	0,267	0,310	0,316	—
в) кирпича . . . . .	—	—	—	—	0,43
г) на вспомогательные работы . . . . .	0,215	0,228	0,245	0,245	0,870
Стоимость панели (франко-завод), руб . . . . .	7,42	9,15	8,50	11,90	—
Прямые затраты, руб . . . . .	9,92	11,90	11,53	14,04	14,26
Стоимость с учетом накладных расходов и зимних удорожаний, руб . . . . .	11,66	13,98	13,55	16,50	16,70

домов серии 1-464С с наружными стенами из перлитобетона по проекту, разработанному ЦНИИЭПжилища совместно с Иркутским филиалом Промстройпроект. В табл. 9 приведены технико-экономические показатели для наружных стен многоэтажных домов, разработанные Институтом экономики. Из таблицы следует, что наиболее эффективные, судя по основным показателям, перлитобетонные панели.

Строительство крупнопанельных жилых домов с наружными стенами из перлитобетона осуществляется также в городах Улан-Удэ и Красноярске. Стеновые панели из перлитобетона применяются на строительстве промышленных и общественных зданий в городах Иркутске, Шелехове, Красноярске и Улан-Удэ. Толщина наружных стен из традиционных материалов.

Так, в г. Шелехове (расчетная температура — 38° С) толщина перлитобетонных стен принята с большим запасом — 35 см, вес 1 м<sup>2</sup> 280 кг, а толщина применявшихся ранее кирпичных стен 70 см, вес 1 м<sup>2</sup> 1320 кг.

В институтах НИИстройфизики и ЦНИИЭПжилища проведены натурные теплотехнические наблюдения жилых домов с наружными стенами из перлитобетона; в результате установлено, что в этих домах теплый, сухой воздух, сопротивление теплопередаче перлитобетонных стен составило 1,4—1,6 час·град/ккал, что превышает требуемое нормативное сопротивление 1,24 час·град/ккал. Данные Центрального научно-исследовательского института строительных конструкций об особенностях трещинообразования перлитобетонных панелей свидетельствуют о надежности и долговечности этих стен.

Опыт проектирования и строительства подтверждает, что особенно целесообразно применять вспученный перлит для основных конструкций зданий, строящихся в районах повышенной сейсмичности, где именно и расположены месторождения перлита.

В последние годы в крупнопанельном домостроении для стеновых панелей в качестве заполнителя легкого бетона применяется вспученный перлитовый песок в сочетании с другими искусственными и природными заполнителями: керамзитом — керамзитоперлитобетон (гг. Киев, Одесса, Херсон, Чита и др.), аглопоритом — аглопоритоперлитобетон (г. Минск), шлаком — шлакоперлитобетон (г. Ереван и др.).

Натуральные наблюдения, выполненные в целом ряде научно-исследовательских и проектных организаций, установили, что наружные стены из вышеуказанных легких бетонов находятся в удовлетворительном состоянии; исключения составляют керамзитоперлитобетонные панели жилых домов на хуторе Отрадном (район г. Киева), где произошло трещинообразование, вызванное главным образом нарушением технологии изготовления панелей.

Технико-экономический анализ позволяет установить значительную эффективность добычи и использования в капитальном строительстве стекловатых вулканических пород. Основные факторы, определяющие технико-экономическую эффективность: благоприятные условия добычи, малые удельные капиталовложения на предприятия по добыче и переработке в связи с благоприятными условиями технологии, высокие физико-технические показатели бетонов как на естественных пористых, так и особенно на искусственно вспучиваемых вулканических породах.

Центральный научно-исследовательский институт  
проектирования жилищ



## СТЕКЛООБРАЗНЫЕ ПОРОДЫ АРМЕНИИ И НАПРАВЛЕНИЯ ИХ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

В Армении широко развиты различные изверженные, метаморфические и осадочные горные породы. Однако наиболее практичны вулканические водосодержащие стекла кислого и основного состава (перлиты, обсидианы, пемзы, шлаки, туфы и т. д.).

В лаборатории стекла, стекловолокна и стекловаты Института камня и силикатов на основе перлитовых пород Арагацского месторождения разработана технология комплексной гидротермально-щелочной переработки перлита на ряд силикатных продуктов.

Сущность этой технологии заключается в том, что перлитовая порода в порошке (фракция 0,5—1,0 мм) при температуре порядка 150°С в течение 30—60 мин в автоклавах подвергается обработке щелочью. На различных стадиях этого процесса из 1 м<sup>3</sup> перлита получается 0,3 т жидкого стекла (вяжущее, клеящее и пропитывающее вещество), 1,3 т девятиводного метасиликата натрия (моющее, отбеливающее средство, уменьшающее необходимость применения в промышленности растительных и животных продуктов), 0,4 т алюмощелочных силикатов (высококачественные адсорбенты, катализаторы) и 0,26 т «каназита» — высококачественного сырья для стекольной промышленности.

Большое практическое значение жидкого стекла общеизвестно. Щелочные алюмосиликаты — нерастворимый остаток, получаемый при переработке перлитов, который может применяться в качестве фильтровального материала. Промышленные испытания, произведенные Ленинградским фольгопрокатным заводом, показали, что адсорбционные свойства этих продуктов значительно выше, чем адсорбентов, ввозимых из-за границы. Кроме того, опытами установлена возможность применять щелочные алюмосиликаты в качестве молекулярных сит для разделения газовых смесей и как катализатор для крекинга нефти. «Каназит» представляет собой щелочное алюмокальциево-магнелиевое соединение (типа  $xR_2O \cdot yRO \cdot zR_2O_3 \cdot nSiO_2$ ). «Каназит» может применяться для получения широкого ассортимента стекол — оконного, тарного, хрустального, оптического, сортового и др.

На базе перлитов Арагацского и Артенийского месторождений с незначительной добавкой доломита, известняка и других пород разработана и испытана в промышленном масштабе технология получения щелочно-стеклянного волокна, стеклоткани и стеклопластиков. Исследования показали, что синтезированные волокна из алюмомагнезильного кальций-натрий-силикатного стекла перлитов обладают средней прочностью 240 кг/мм<sup>2</sup> (мах 320—350 кг/мм<sup>2</sup>), а модуль упругости этих волокон составляет 7500 кг/мм<sup>2</sup>. Испытания изделий из стеклопластиков, армированных перлитовым волокном, обладают также высокими механическими свойствами и по своим качественным показателям не уступают стеклопластикам, получаемым из бесщелочного стекла.

В лаборатории петроситаллов Научно-исследовательского института камня и силикатов на основе пемз, шлаков, туфов, перлитовых и других горных пород синтезированы различные стекла и ситаллы, часть которых получена и опробована в полупромышленных условиях в Московском государственном институте стекла. Исследованиями нами составы отличаются хорошими варочными свойствами, температура варки стекла в зависимости от состава колеблется от 1450 до 1550°С.

Возможность управления процессами кристаллизации и хорошие

выработочные свойства синтезированных стекол позволили получить из них изделия в виде плит и труб различных диаметров, изоляторов, листов и других изделий путем прессования, центробежного литья, выдувания и вытягивания. Область применения этих ситаллов как строительного и конструкционного материала обширна. Благодаря высоким физико-химическим свойствам петроситаллов, полученных на основе стеклообразных горных пород Армении (термостойкость 270—300° С, прочность на изгиб 2000 кг/см<sup>2</sup>, химическая стойкость по отношению к воде 0,6—0,44, температура начала размягчения 950—1250° С, твердость 750—850 кг/мм<sup>2</sup> и т. д.), они могут широко применяться в различных отраслях народного хозяйства. Из плавленных ситалловых масс можно изготавливать стеновые панели, перегородки, лестничные площадки, кровельные и облицовочные плиты, оконные и дверные коробки, санитарно-техническое оборудование, трубы, детали станков и машин, резервуары для жидкостей, мебель и многое другое.

Стоимость 1 т петроситаллов в зависимости от состава шихты и области применения ориентировочно составляет 50—90 руб.

В лаборатории вспученных горных пород НИИКС разработана технология получения пористых материалов на основе различного местного сырья — перлитов, обсидианов, туфов, пемз, шлаков, а также нерудных отходов Каджаранского медно-молибденового комбината. Из этих вспучивающихся стеклообразных пород получены вспученные заполнители (порошок, песок, щебень) с заранее заданными свойствами. Указанные заполнители во вспученном виде используются как товарный продукт (звуко- и теплоизоляционная засыпка), так и для изготовления изделий на основе различных вяжущих веществ. Здесь же на основе перлитовых и других пород разработана технология получения пенокамня.

Главный компонент шихты — одна из вышеперечисленных пород; в незначительных количествах в нее входят другие горные породы. Вспучивание в зависимости от природы исходного сырья происходит при температурах 850—1200° С с выдержкой 15—60 мин.

Полученные ячеистые материалы обладают хорошими строительно-конструктивными, тепло-звукоизоляционными и декоративно-архитектурными свойствами. Объемный вес в зависимости от технологии производства и применяемых материалов колеблется от 200 до 900 кг/м<sup>3</sup>, предел прочности при сжатии 10—350 кг/м<sup>2</sup>, кислотостойкость 98,9—98,96%, коэффициент теплопроводности 0,056 ккал/м·час·град, водопоглощение 0,5—60%. Цвет получаемого пенокамня серо-бежевый или снежно-белый.

Литоидные пемзы Розданского района применяются для получения бутылочного стекла. Для аналогичных целей предполагается использовать перлитовые пески Арteni.

Научно-исследовательский институт камня и силикатов (г. Ереван)

## ПЕРЛИТО-ВЕРМИКУЛИТОВЫЕ СМЕСИ, ПОКРЫТИЯ И ЗАСЫПКИ ДЛЯ ОТЛИВОК СЛИТКОВ ИЗ ЦВЕТНЫХ И ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ

Усадочные раковины, трещины, неметаллические включения, неоднородность структуры и другие дефекты отливок и слитков материалов зарождаются в период его перехода из жидкого состояния в твердое. Поэтому особенности процесса затвердевания отливок и слитков определяют основные качества получаемого металла.

При правильном ведении процесса затвердевания во время собирательной кристаллизации из отливок и слитков вытесняются усадочные раковины, газовые и песчаные включения; происходит формирование кристаллов, вследствие чего металл уплотняется и, естественно, уменьшается в объеме. В зависимости от условий затвердевания раковины и включения могут быть рассеяны по телу отливки или слитка в виде микровключений или сосредоточены в специальной части отливки, в так называемой прибыли<sup>1</sup>.

Исследованиями доказано, что концентрирование и вытеснение включений, пор и т. д. и компенсация их объема жидким металлом происходят при направленном затвердевании отливки. Поэтому для получения плотной структуры и повышенной прочности отливок или слитков следует осуществлять при помощи прибыли направленное затвердевание металла.

Отношение объемов прибыли и отливки на практике принимают равным 1 : 2. Сравнивая объем широко применяемых прибылей с объемом компенсируемых ими усадочных раковин и включений (5—7%), находим, что коэффициент использования металла прибылей, например, для литья из углеродистой стали составляет менее 0,1, для слитков — 0,35—0,5. При этих условиях нормальная работа прибыли достигается за счет увеличения ее массы. Чем больше масса прибыли, напусков и припусков, тем больше ее металл находится в жидком состоянии и тем лучше осуществляется направленное затвердевание отливки.

В связи с этим на практике широко применяют большие прибыли, составляющие 60—100% веса отливки и 15—20% веса слитка. Вес прибыли иногда даже превышает вес отливки; вес напусков и припусков металла также составляет 20—30% веса отливки. В результате выход годного литья не превышает 40—60%, коэффициент использования металла очень мал (0,25—0,4) и много отливок идет в брак в связи с наличием рыхлостей и трещин.

Чрезмерно большой расход металла (общие потери 45—60%) и низкое качество отливок настоятельно требуют разработки новых методов управления направленным затвердеванием отливок и слитков. Изыскание новых способов увеличения коэффициента использования металла при литье отливок и слитков — большая и очень важная проблема. Известно, что теплообмен между отливкой и формой предопределяет процесс формирования плотного металла, крупнокристаллической или мелкокристаллической структуры, столбчатых или изометричных кристаллов. В связи с этим исключительный интерес представляет метод управления теплообменом между отливкой и формой, служащий основным фактором направленного затвердевания.

<sup>1</sup> Прибылью в металлургии называют часть отливки, металл которой благодаря медленному охлаждению обладает способностью аккумулировать включения, ранее рассеянные по всему ее объему.

Отдел формовочных материалов и технологии форм Института литейного производства АН УССР разработал новый метод управления процессом формирования отливки, в основу которого положен принцип максимального температурного перепада между отливкой и прибылью.

Такой материал, как вспученный перлит, почти не аккумулирует тепло и, следовательно, способствует сохранению металла длительное время в жидком состоянии. Он может использоваться для изготовления форм прибыльных частей отливки с целью сохранения теплоты перегрева металла прибыли и создания максимального температурного перепада между металлом прибыли и отливки. Эти условия дают возможность резко уменьшить объем прибыли.

Экспериментально установлено, что тепловые потоки при взаимодействии одинакового количества жидкой стали с теплоизоляционными оболочками перлитовой, шамотной и чугунной соответственно равны 40 000, 175 000 и 300 000 ккал/м<sup>3</sup>час.

Четырех-семикратная разница в теплоотводе в связи с применением перлита дает возможность дифференцировать теплофизические свойства формы и, таким образом, эффективно управлять затвердением отливок и слитков. Оптимальные условия формирования качественной структуры и высоких прочностных свойств отливки устанавливаются при соотношении скоростей отвода тепла отливок и прибыли, равном 2 : 1.

Оптимальный объем изотермической прибыли (утепленной перлитовермикулитовым покрытием) проверен экспериментально на отливке стальных образцов при прочих равных условиях.

Опыт показал, что концентрация усадочных раковин происходит целиком в пределах прибыли и плотная структура образца может быть получена в том случае, когда объем прибыли составляет 15% объема слитка.

Сравнительные исследования показали, что при прочих равных условиях объем изотермической прибыли превышает объем усадочных раковин отливки в 2—3 раза, тогда как в экзотермической прибыли в 2,5—4 раза, в обычной прибыли в 8—12, а иногда и в 15—16 раз. Выход годного литья при применении изотермических прибылей увеличивается на 8—15%.

В Институте проблем литья АН УССР разработаны высокоэффективные теплоизоляционные составы для изотермических прибылей отливок и слитков на основе применения вспученного перлита (табл. 1, 2).

Нами изучалась возможность использовать способности природного перлита к вспучиванию для уменьшения прочности песочных форм и стержней после заливки их металлом. Это очень важно в практике литейного производства, так как выбивка песочно-глинистых жидкостекольных форм и стержней почти не поддается механизации и осуществляется вручную при помощи пневматических зубил. Такие формы и стержни невозможно удалить ни на выбивных решетках, ни в гидромашинах. Условия труда рабочих обрубных отделений литейных цехов очень тяжелые и сопровождаются профессиональными заболеваниями — силикозом и виброболезнью.

Опытами установлено, что разрушающее действие на литейные формы перлитовермикулитовых добавок основано на резком увеличении объема при вспучивании. Эффект разрушения особенно значителен для малых размеров стержней и тонкостенных форм. При резком увеличении температуры до 700—900° в доли секунды перлит увеличивается в объеме в 7 раз, а вермикулит — в 21 раз. При этом сила разрушения достигает 8—10 кг/см<sup>2</sup>.

Состав смесей песочных форм с применением перлита приведен в табл. 3.

Таблица 1

## Состав и характеристика перлито-вермикулитовых покрытий и облицовок

Материал	ГОСТ, ТУ	Содержание (%) к объему отливки
Обмазка для боковых стенок надставки изложницы		
Перлит (вермикулит) вспученный	РВТУ 23-60 Госстроя УССР	87—90
Глина огнеупорная	ГОСТ 3236-57	7—10
Жидкое стекло, модуль 2—2,2	ТУ 917-41	3
Вода (сверх 100%)	—	30—33
Засыпка зеркала металла слитка		
Перлит (вермикулит) вспученный	РВТУ 23-60	60—70
Молотый коксик	Отход коксохимического производства	40—30
Теплоизоляционная краска		
Вспученный перлитовый* песок фракции 0,10 мм	РВТУ 23-60 Госстроя УССР	90—93
Сульфитный щелок	ГОСТ 8518-57	10—7
Вода (сверх 100%)	—	30—33

\* Вспученный перлит может быть заменен вспученным вермикулитом.

Таблица 2

## Состав (в объемн. %) и физико-механические свойства теплоизоляционных смесей для оболочек и облицовок прибыльных и других частей литейных форм

Материал и физико-механические свойства	ГОСТ, ТУ	1	2	3	4	5
Вспученный перлит*	РВТУ 23-60	88,0	90,0	70,0	55,0	88,0
Древесная мука . . .	—	—	—	—	25,0	—
Асбест . . . . .	—	—	—	20,0	—	—
Глина огнеупорная	ГОСТ 3236-54	5,0	10,0	10,0	20,0	—
Сульфитный щелок**	ГОСТ 8518-57	—	14,0*	14,0*	—	0,5
Жидкое стекло** . .	ТУ 917-41	7,0	—	—	3,0*	—
Гипс . . . . .	—	—	—	—	—	12
Вода . . . . .	—	—	—	—	—	18,0*
Влажность . . . . .	—	14—16	14—16	14—16	30—35	30—35
Газопроницаемость, см/мин . . . . .	—	60	60	60	—	60
Прочность на сжатие сырого образца, кг/см <sup>2</sup>	—	0,35—0,5	0,5—0,7	0,5—0,7	0,5—0,65	0,4—0,6
Объемный вес высушенного образца, кг/см <sup>3</sup> . . . . .	—	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

1, 2—перлитовый; 3—перлито-асбестовый; 4—перлито-опилочный; 5—перлито-гипсовый.

\* Вспученный перлит заменяется вспученным вермикулитом; \*\* Сверх 100%.

Для литейного и металлургического производства пригоден вспученный перлит, получаемый предприятиями строительной промышленности из природного перлита месторождений Закарпатья, Закавказья и Дальнего Востока. Вспученный перлит должен иметь коэффициент тепловой аккумуляции  $b < 5$  ккал/м<sup>2</sup>град С час<sup>1/2</sup>; коэффициент охлаждающей способности  $\beta < 7$  ккал/м<sup>2</sup>град С час<sup>1/2</sup>; объемный вес  $< 250$  кг/м<sup>3</sup>. Гранулометрический состав вспученного перлита приведен ниже (табл. 4).

Таблица 3

## Составы смесей с добавкой перлитовой породы

Материал и физико-механические свойства	ГОСТ, ТУ	Содержание, объемн. %	
		смесь 1	смесь 2
Песок кварцевый . . . . .	ГОСТ 2138-56	47—50	78—73
Отработанная смесь (песок, глина и т. д.)	—	36—25	—
Глина огнеупорная . . . . .	ГОСТ 3236-57	7—12	5
Жидкое стекло . . . . .	ТУ 917-41	—	5—7
Мука перлитовой породы . . . . .	—	10—13	12—15
Каустик, 10% раствор (сверх 100%) . . . . .	—	—	1,5
Влажность, % . . . . .	—	7—3	1,8—3,4
Газопроницаемость, см/мин . . . . .	—	130	120
Прочность на сжатие сырого образца, кг/см <sup>2</sup>	—	0,35—0,4	0,2—0,3

Мука из природного перлита (применяется в литейных формах, см. табл. 3) приготавливается в шаровых мельницах или размалывающих бегунах. После размолота отсеивается фракция через сито с ячейкой 0,3 мм, которая и применяется как разрушающая добавка в формовочную смесь. Остаток на сите возвращается для размолота. Для передела в муку пригоден природный перлит с коэффициентом вспучивания не менее 8.

Экономический эффект от применения перлитовых покрытий и облицовок в литейном производстве на заводе «Ленинская Кузница» на 1 т литья составил 15 руб 4 коп. В 1963 г. завод получил общую годовую экономию более 500 руб.

Рижский вагоностроительный завод на 1 т литья получил экономию 19 руб 58 коп. При производстве 1500 т годового литья завод в 1962 г. получил экономию 500 т жидкой стали. Днепропетровский завод металлургического оборудования на 1 т стального литья сэкономил 6 руб, на 1 т цветного литья — 94 руб, на 1 т чугунного литья — 11 руб 80 коп. Опытные работы на заводе «Азовсталь» (г. Жданов) показали возможность получить экономию металла до 1% на 1 т стали.

Институт проблем литья АН УССР

Б. Н. ВИНОГРАДОВ

### О ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ПЕРЛИТОВОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ С ГЛИНОЗЕМИСТЫМ ЦЕМЕНТОМ ПРИ ТВЕРДЕНИИ И ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ ЖАРОУПОРНОГО БЕТОНА

Как показали технологические работы института «Теплопроект», перлитобетон на глиноземистом цементе — весьма эффективный жароупорный материал для тепловой изоляции с рабочей температурой до 1000°С

Таблица 4

## Гранулометрический состав перлита

Номинальный размер стороны ячейки сита, мм	Полные остатки на соответствующих ситах, объемн. %	
	максимальные	минимальные
1,2	30,0	—
0,63—0,4	50,0	25,0
0,315—0,25	100,0	40,0
0,16	60,0	—

(Сухарев, Майзель, 1963). Установлено, что такой бетон имеет очень важную особенность — весьма малую усадку при первом нагревании, не превышающую 0,12%, что позволяет изготавливать из него крупноразмерные элементы (блоки, скорлупы, шарги для дымовых труб).

В лаборатории физико-химических исследований Всесоюзного научно-исследовательского института новых строительных материалов изучались фазовые превращения, происходящие в перлитобетоне на глиноземе-цементе при твердении и термической обработке до температуры 1000° С<sup>1</sup>.

В качестве заполнителя использован вспученный перлитовый песок, полученный из перлита месторождения Ардов на опытной установке института «Теплопроект» при 110° С и имевший насыпной объемный вес 300 кг/м<sup>3</sup> при крупности 0—10 мм.

Химический состав вспученного перлита (в %): SiO<sub>2</sub>—73,53, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—14,73, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—2,08, CaO—1,95, MgO—следы, SO<sub>3</sub>—0,08, K<sub>2</sub>O+Na<sub>2</sub>O—6,98, потери при прокаливании—1,30.

Вспученный перлит состоит из бесцветного прозрачного стекла,  $N=1,485 \pm 0,002$ . Структура гранул ячеистая. Перегородки из стекла имеют толщину от 0,001 до 0,020 мм, заполненные воздухом ячейки — правильную круглую форму и размер до 0,3 мм. Большая часть ячеек является изолированной, о чем свидетельствует малое водопоглощение перлитового песка.

Примененный в работе глиноземистый цемент Пашийского завода марки 500 имел следующий химический состав (в %): SiO<sub>2</sub>—11,28, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—40,72, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>—3,45, CaO—40,05, MgO—1,35, SO<sub>3</sub>—2,33, R<sub>2</sub>O—1,04, потери при прокаливании—0,51. Минералогический состав цемента довольно сложен и характеризуется преобладанием высокоактивных минералов — моноалюмината кальция и кубической модификации алюмината кальция 12CaO·7Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Общее содержание алюминатов кальция достигает 50%. В несколько меньшем количестве (около 40%) присутствует малоактивный алюмосиликат кальция — геленит. В виде примесей отмечены β-белит — 2CaO·SiO<sub>2</sub> и двухкальциевый феррит.

Для изучения были взяты перлитобетоны двух видов: 1) из цемента и перлитового песка в соотношении 1:1; 2) из цемента, перлитового песка и тонкомолотой перлитовой добавки в соотношении 1:1:0,5. Приготовление перлитобетонной смеси производилось в растворешалке принудительного действия, загрузка которой осуществлялась в следующем порядке: перлитовый песок, тонкомолотая перлитовая добавка, 1/3 необходимого объема воды, цемент, остальные 2/3 объема воды. Продолжительность перемешивания смеси составляла 3,5—4 мин. Затем смесь укладывалась в форму размером 7,1×7,1×7,1 см и уплотнялась на виброплощадке с пригрузом 40 г/см<sup>2</sup> в течение 1—1,5 мин.

Образцы выдерживались во влажной среде при 20° С в течение 3 суток, после чего высушивались до постоянного веса в сушильном шкафу при температуре 110° С. Высушенные образцы подвергались термической обработке в муфельной печи при температурах 500, 800 и 1000° С в течение 4 час. Высушенные и термообработанные образцы перлитобетона подверглись физико-механическим и минералогическим исследованиям.

В табл. 1 показаны результаты испытаний образцов.

Из образцов перлитобетона готовились прозрачные шлифы, при просмотре которых устанавливались особенности микроструктуры и фиксировались изменения фазового состава, обусловленные высокотемпературной обработкой.

<sup>1</sup> Образцы бетона для исследования подготовлены М. Ф. Сухаревым и И. Л. Майзелем («Теплопроект»).

Таблица 1

## Физико-механические свойства образцов

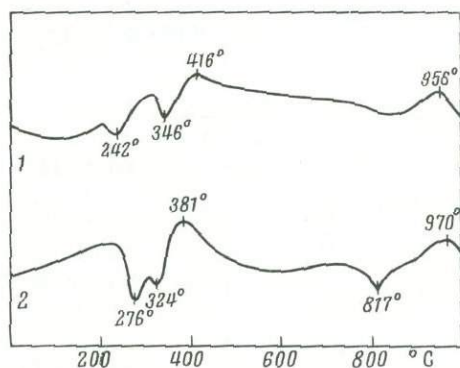
Образец	Состав смеси в весовых частях			Температура термообработки, град	Результаты испытания образцов перлитобетона		
	цемент	перлитовый песок	тонкомолотая перлитовая добавка		объемный вес, кг/см <sup>3</sup>	прочность при сжатии, кг/см <sup>2</sup>	снижение прочности при термообработке, %
Двухкомпонентная смесь (1)	1	1	—	110	940	49	—
				500	820	25	49
				800	760	17	65
				1000	780	13	73
Трехкомпонентная смесь (2)	1	1	0,5	110	1000	60	—
				500	890	36	40
				800	890	38,5	36
				1000	900	31	48

Процессы гидратации глиноземистого цемента при твердении и дегидратации цементирующего вещества при термической обработке изучались на бетоне без добавки тонкомолотого перлита.

На кривой 1 показана термограмма образца 1, снятая после высушивания при температуре 110° С. На термограмме присутствуют три эндотермических и два экзотермических эффекта. Первый эффект с максимумом при температуре 276° С обусловлен дегидратацией пластинчатого гидроалюмината кальция  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Второй эндотермический эффект с максимумом при 324° С характерен для двух соединений — гидрата окиси

Термограммы перлитобетона на глиноземистом цементе. Сняты на пирометре С. Н. Курнакова ФПК-55 при скорости подъема температуры 8 град/мин

1 — бетон с добавкой тонкомолотого вспученного перлита; 2 — бетон без добавки тонкомолотого перлита



алюминия (гидраргиллита) и кубического гидроалюмината  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Судя по рентгенограмме, преобладает последний. Нечеткий экзотермический эффект при 381° С отражает рекристаллизацию субмикроструктурных продуктов обезвоживания гидроалюминатов кальция и гидрата окиси алюминия. Третий небольшой эндотермический эффект при 817° С свидетельствует о примеси кальцита, образовавшегося за счет гидроалюминатов кальция при хранении образца. Последний экзотермический эффект при 970° С — следствие кристаллизации высокотемпературных фаз.

Рентгеноструктурный анализ (табл. 2) показал, что исходный образец содержит только одну новую кристаллическую фазу — кубический гидроалюминат кальция  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Остальные линии принадле-



Таблица 2

Рентгенограммы образцов бетона на глиноземистом цементе без перлитовой добавки (сняты на установке УРС50И с медным антикатодом)\*

№ линии	После прогрева при $t$ , °С								Фазовый состав**				
	110		500		800		1000		геленит	белит	$12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$	кальцит	$\text{C}_3\text{AH}_6$
	$l$	$d$	$l$	$d$	$l$	$d$	$l$	$d$					
1	1	5,08	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
2	1	4,39	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
3	—	—	1	4,09	—	—	—	—	+	—	—	—	—
4	2	3,67	3	3,68	—	—	—	—	+	—	—	—	—
5	—	—	—	—	2	3,45	—	—	+	—	—	—	—
6	5	3,34	1	3,34	4	3,32	—	—	+	—	—	—	+
7	—	—	—	—	5	3,27	—	—	—	—	+	—	—
8	1	3,15	1	3,15	2	3,15	2	3,15	+	—	+	—	+
9	3	3,06	2	3,07	2	3,06	—	—	+	—	—	+	—
10	—	—	—	—	9	2,95	—	—	—	—	+	—	—
11	5	2,84	6	2,84	3	2,84	10	2,84	+	—	—	—	—
12	3	2,79	—	—	2	2,76	4	2,78	—	+	—	—	+
13	—	—	—	—	2	2,70	1	2,72	+	+	—	—	—
14	—	—	2	2,67	1	2,67	—	—	—	—	+	—	—
15	4	2,53	1	2,52	1	2,52	3	2,53	+	—	—	—	—
16	2	2,43	2	2,43	2	2,43	4	2,42	+	—	+	—	—
17	—	—	4	2,40	1	2,39	4	2,40	+	—	—	—	—
18	—	—	—	—	2	2,32	—	—	—	—	+	—	—
19	3	2,27	2	2,27	2	2,28	5	2,27	+	—	—	—	+
20	—	—	1	2,18	4	2,17	—	—	+	+	+	—	—
21	2	2,03	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
22	3	2,01	2	2,02	1	2,01	4	2,01	+	—	—	—	—
23	—	—	1	1,926	—	—	1	1,923	+	—	—	+	—
24	—	—	—	—	1	1,813	2	1,809	+	—	—	+	—
25	2	1,748	3	1,750	2	1,746	4	1,747	+	—	—	—	—
26	1	1,722	—	—	—	—	1	1,720	+	—	+	—	—
27	—	—	—	—	3	1,704	—	—	+	—	—	—	—
28	1	1,683	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	+
29	1	1,664	—	—	—	—	2	1,660	—	—	+	—	—
30	—	—	—	—	3	1,595	—	—	—	—	+	—	—
31	—	—	3	1,506	—	—	2	1,510	+	—	—	—	—
32	—	—	—	—	—	—	4	1,371	+	—	—	—	—

\* Съемка рентгенограмм произведена Т. С. Буг.

\*\* + линии, принадлежащие той или иной фазе.

жат гелениту и  $\beta$ -белиту  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$ , внесенным в бетон в составе глиноземистого цемента. Слабая широкая линия — 3,06 Å подтверждает присутствие небольшого количества кальцита.

Под микроскопом цементирующее вещество образца, прогретого при 110° С, имеет вид прозрачной бесцветной гелевидной массы со средним светопреломлением 1,53—1,55. В виде включений присутствуют угловатые зерна геленита. Местами в последних наблюдаются скелетные вроски моноалюмината кальция. Гелевидная фаза состоит из гидроалюми-

ната кальция  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$  и гидроокиси алюминия. При микроскопическом исследовании присутствие кубического гидроалюмината кальция не обнаружено, что объясняется, по-видимому, малым размером кристаллов этого соединения.

Прогрев образца перлитобетона до  $500^\circ\text{C}$  приводит к значительному увеличению светопреломления цементирующего вещества (в среднем до 1,6) и появлению в нем частично раскристаллизованных участков со слабой агрегатной поляризацией. Хотя на рентгенограмме (см. табл. 2) в этом интервале температуры новые кристаллические фазы не зарегистрированы. Дальнейшее повышение температуры до  $800^\circ\text{C}$  сопровождается легким побурением цементирующего вещества и снижением содержания анизотропных участков. Рентгеновский анализ показал, что при прогреве до  $800^\circ$  за счет обезвоженных гидроалюминатов кальция цементирующего вещества кристаллизуется алюминат кальция  $12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  в форме стабильной кубической  $\alpha$ -модификации. Геленит и  $\beta$ -белит —  $2\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$  при прогреве до  $800^\circ\text{C}$  не изменяются. Кальцит полностью диссоциирует.

Следует отметить, что частицы вспученного перлита практически не реагируют с продуктами гидратации глиноземистого цемента. Это объясняется отсутствием выделений свободного гидрата окиси кальция при гидратации глиноземистого цемента (установлено этилово-глицератным методом). Как в исходном бетоне, так и в прогретом при температуре  $800^\circ\text{C}$  частицы перлита имеют четкие ограничения без признаков каких-либо контактных новообразований. Термическая обработка при температуре  $1000^\circ\text{C}$  приводит к усилению окраски цементирующего вещества до бурой. Одновременно повышается содержание тонкодисперсных анизотропных включений.

На рентгенограмме образца, прогретого при этой температуре (табл. 2), усиливаются линии геленита и практически исчезают линии  $\alpha$ - $12\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ . Это свидетельствует о развитии твердофазовых реакций между гидратированным цементирующим веществом и кремнеземистым стеклом вспученного перлита с преимущественным образованием алюмосиликата кальция — геленита.

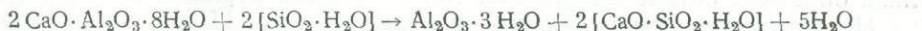
При введении тонкомолотой перлитовой добавки процессы твердения бетона изменяются сравнительно мало. Бетон нормального твердения в условиях атмосферной влажности после прогрева при  $110^\circ\text{C}$  дает термограмму, показанную на графике (кривая 2). Первый эндотермический эффект с максимумом при  $242^\circ\text{C}$  характерен для пластинчатого гидроалюмината  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ ; второй при  $346^\circ\text{C}$  может быть объяснен дегидратацией двух фаз — гидрата окиси алюминия (гидраргиллита) и кубического гидроалюмината кальция  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ .

По данным рентгеновского анализа (табл. 3), в образце нет (или очень мало) гидроалюмината  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ , поэтому эффект с максимумом при температуре  $346^\circ\text{C}$  следует отнести за счет реакции обезвоживания гидраргиллита.

Заметное уменьшение содержания (а может быть и исчезновение) трехкальциевого гидроалюмината объясняется влиянием тонкодисперсной перлитовой добавки, интенсивно связывающей ионы кальция из жидкой фазы. Можно предположить, что в этих условиях, наряду с обычной в глиноземистом цементе реакцией:



развивается реакция по схеме



с участием кремнезема гидратированной стеклофазы. Последний экзотермический эффект при  $956^\circ\text{C}$  обусловлен кристаллизацией высокотемпературных новообразований.

Таблица 3

## Рентгенограммы образцов бетона на глиноземистом цементе с тонкомолотым перлитом

№ линии	После прогрева при $t$ , °С								Фазовый состав			
	110		500		800		1000		геленит	белит	$12\text{CaO} \cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$	анортит
	$l$	$d$	$l$	$d$	$l$	$d$	$l$	$d$				
1	—	—	—	—	—	—	4	3,71	+	—	—	—
2	—	—	4	3,39	5	3,38	—	—	+	—	—	—
3	1	3,32	2	3,31	—	—	2	3,32	—	—	—	+
4	—	—	—	—	2	3,21	2	3,20	—	—	—	+
5	—	—	—	—	—	—	6	3,16	+	—	+	—
6	2	3,05	3	3,07	—	—	2	3,05	+	—	—	—
7	—	—	5	2,97	—	—	—	—	—	—	+	—
8	—	—	—	—	—	—	2	2,92	—	—	—	+
9	5	2,84	5	2,84	6	2,84	10	2,83	+	—	—	+
10	—	—	5	2,76	—	—	—	—	—	+	—	—
11	—	—	4	2,72	—	—	—	—	+	+	—	—
12	—	—	—	—	—	—	2	2,68	—	—	—	—
13	—	—	1	2,60	—	—	—	—	—	+	—	—
14	—	—	—	—	1	2,51	3	2,51	+	—	—	+
15	—	—	1	2,46	—	—	—	—	—	—	+	—
16	—	—	1	2,41	2	2,40	1	2,42	+	—	—	—
17	2	2,37	—	—	—	—	2	2,38	+	—	—	—
18	1	2,28	2	2,28	1	2,28	4	2,27	+	—	—	—
19	—	—	4	2,19	—	—	—	—	+	+	—	—
20	—	—	—	—	—	—	1	2,15	—	—	+	—
21	—	—	—	—	—	—	1	2,13	+	—	—	+
22	1	2,015	1	2,024	1	2,026	1	2,02	+	—	—	+
23	—	—	1	1,978	—	—	—	—	+	—	—	—
24	—	—	—	—	—	—	1	1,934	—	—	+	—
25	—	—	1	1,910	—	—	1	1,914	+	—	—	—
26	—	—	—	—	—	—	2	1,847	—	—	—	+
27	—	—	1	1,805	—	—	—	—	+	—	—	—
28	1	1,741	2	1,75	2	1,746	6	1,746	+	—	—	—
29	—	—	1	1,716	—	—	—	—	+	—	—	—
30	—	—	—	—	1	1,702	2	1,701	+	—	—	—
31	—	—	—	—	—	—	1	1,666	—	—	+	—
32	—	—	1	1,623	—	—	—	—	+	—	—	—
33	—	—	1	1,603	—	—	1	1,602	—	—	+	—
34	2	1,510	—	—	1	1,510	2	1,510	+	—	—	—

Под микроскопом цементирующее вещество в образцах бетона 2 очень похоже на цементирующее вещество образцов 1 (без тонкомолотого перлита). В табл. 3 приведены результаты рентгеноструктурного анализа образцов бетона с добавкой тонкомолотого перлита.

На рентгенограмме образца, прогретого при 110°С, наблюдаются линии одного минерала — геленита, присутствовавшего в исходном глиноземе цемента. Одна слабая линия 3,32 Å может быть объяснена случайным попаданием в образец полевого шпата (с перлитом) или кварца

(за счет загрязнений при помоле или перемешивании бетона). После прогрева при  $500^{\circ}\text{C}$  появляются единичные линии кубического  $\alpha\text{-}12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ . Дальнейшее повышение температуры термообработки до  $800$  и  $1000^{\circ}\text{C}$  сопровождается развитием твердофазовых реакций с возникновением двух алюмосиликатов — двухосновного геленита и одноосновного анортита (первый преобладает).

## ВЫВОДЫ

1. Вспученный перлитовый наполнитель при твердении перлитобетона практически не вступает в реакции с продуктами гидратации глиноземистого цемента. Это объясняется пониженной величиной рН жидкой фазы твердеющего бетона.

2. Увеличение удельной поверхности перлитового стекла за счет введения тонкомолотого перлита способствует снижению содержания в продуктах твердения глиноземистого цемента кубического гидроалюмината  $\text{C}_3\text{AH}_6$ , что положительно сказывается на прочностных показателях перлитобетона.

3. Присутствие вспученного перлита не отражается на фазовых превращениях цементирующего вещества в интервале температур  $110\text{—}500^{\circ}\text{C}$ . Дальнейшее увеличение температуры термической обработки перлитобетона до  $800\text{—}1000^{\circ}\text{C}$  сопровождается развитием твердофазовых реакций между дегидратированным цементирующим веществом и стеклофазой вспученного перлита. Эти реакции идут тем интенсивнее, чем выше удельная поверхность перлитового наполнителя. В результате твердофазовых реакций возникают алюмосиликаты кальция — геленит и анортит.

4. Введение в перлитобетон на глиноземистом цементе добавки тонкоизмельченного перлита весьма эффективно, так как позволяет уменьшить расход дефицитного и дорогостоящего глиноземистого цемента при сохранении заданной начальной прочности бетона и увеличить прочность бетона в рабочем интервале температур от  $600$  до  $1000^{\circ}\text{C}$ . Усадка бетона при этом не увеличивается.

Московский инженерно-строительный институт  
им. В. В. Куйбышева

■  
Б. Н. ВИНОГРАДОВ, В. Н. ТАРАСОВА

## ГИДРАВЛИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ВУЛКАНИЧЕСКИХ СТЕКОЛ И ЕЕ ВЛИЯНИЕ НА ДЕФОРМАТИВНЫЕ СВОЙСТВА БЕТОНОВ

Вспученный перлит широко применим для изготовления теплоизоляционных и конструктивно-теплоизоляционных легких бетонов. Более тяжелые и соответственно менее эффективные наполнители из пористых стекловатых горных пород (туф, пемза, вулканические шлаки и пеплы) используются главным образом для легкобетонных ограждающих конструкций с объемным весом  $1,0\text{—}1,5\text{ т/м}^3$ . Общий объем производства пористых наполнителей, представленных преимущественно вулканиче-

ским стеклом, составил в 1965 г. 1,5 млн. м<sup>3</sup>, а к 1970 г. выпуск таких заполнителей должен возрасти до 6—7 млн. м<sup>3</sup>.

Многолетний опыт применения природных пористых заполнителей в легких бетонах, накопленный в республиках Закавказья, показывает, что такие бетоны долговечны и имеют относительно небольшие усадочные деформации. Однако есть случаи разрушения стеновых панелей из перлитобетона (Ершов, Хуторянский, 1966), вызванные нарушением технологии производства и протеканием контактных реакций между перлитовым заполнителем и цементом при твердении.

Исследованиями, выполненными во Всесоюзном научно-исследовательском институте строительных материалов и Московском инженерно-строительном институте им. В. В. Куйбышева (Виноградов, 1965, 1966), установлено, что реакционная способность вулканических стекол (в том числе вспученных) при твердении проявляется в гидратации стеклофазы, частичном растворении и взаимодействии с ионами Ca<sup>2+</sup> с образова-

Гидравлическая активность вулканических стекол

Порода и материал	Содержание стекла, %	Поглощение СаО 1 г стекла за период твердения, мг		
		30 суток при 20°С (методика ГОСТ 6269-63)	8 час при 95°С	8 час при 174,5°С
<b>Необработанная порода</b>				
Мухор-талинский перлит . . . . .	95	154	206	242
Фонтанский перлит . . . . .	100	181	220	259
Анийская пемза . . . . .	80	59	124	156
Кенженский пепел . . . . .	55	49	109	124
Пумицит Бедик-Су . . . . .	70	62	131	142
Псыхурейский лемзовый песок . . . . .	45	30	67	92
<b>Вспученный перлит</b>				
Мухор-талинский . . . . .	100	89	265	320
Фонтанский . . . . .	100	127	249	284
Хакаюковский . . . . .	95	116	212	229

нием гидросиликатов и гидроалюмосиликатов кальция. Характеристикой реакционной способности вулканического стекла служит величина его гидравлической активности, т. е. количество СаО, поглощенной 1 г измельченного стекла за время твердения.

Определение гидравлической активности при твердении в условиях комнатной температуры (20—25°С) производится по методике, предусмотренной ГОСТ 6269-63. Однако указанная методика неприменима к испытаниям стекол при твердении в пропарочной камере (90—95°С) и в автоклаве (174,5°С). Поэтому о гидравлической активности вулканических стекол в условиях гидротермальной обработки приходилось судить по результатам фазового химического анализа затвердевших образцов. При анализе устанавливалось содержание свободной СаО, СО<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub> и Н<sub>2</sub>O, а также общее содержание СаО (в фильтрате после разложения материала в НСl). Содержание СаО, поглощенной стеклофазой в процессе твердения, определялось по разности между общим содержанием СаО и содержанием СаО в виде гидроокиси, карбоната и сульфата кальция. Полученные цифры пересчитывались на исходную смесь сухих компонентов, гидравлическая активность выражалась в миллиграммах СаО на 1 г вулканической стекловатой породы (т. е. так, как это принято в ГОСТ 6269-63). Результаты определения гидравлической активности различных вулканических пород и вспученных продуктов приведены в таблице.

Горные породы были измельчены до полного прохождения через сито № 0085 и по определениям на приборе ПСХ-2 характеризовались удельной поверхностью от 3000 до 3500  $см^2/г$ ; вспученные материалы имели такую же дисперсность, но более высокую удельную поверхность (в пределах 0,7—1,2  $м^2/г$ ) из-за высокой пористости. Как видно, гидравлическая активность стекловатых горных пород и вспученных материалов изменяется в довольно широких пределах и при твердении в гидротермальных условиях достигает величины 320  $мг$ , характерной для пород, состоящих из аморфной кремнекислоты (трепел, опок и др.).

Установлено, что на величину поглощения окиси кальция вулканическими породами и вспученными материалами влияют следующие факторы.

1. Степень гидратации стеклофазы. Поскольку растворению компонентов стекла предшествует адсорбция поверхностным слоем ионов  $ОН^-$ , то гидратированные стекла, естественно, быстрее связывают  $CaO$  из жидкой фазы твердеющего бетона, чем дегидратированные. В условиях нормального твердения (20° С) сырой перлит значительно более активен (на 42—73%), чем соответствующий вспученный, хотя последний имеет большую удельную поверхность. В условиях водотепловой обработки, способствующей интенсивной регидратации безводной стеклофазы, главное влияние на гидравлическую активность оказывает удельная поверхность вспученного перлита, что приводит к увеличению количества связанной  $CaO$  до 249—320  $мг$  против 217—259  $мг$  у сырого перлита соответствующих месторождений.

2. Присутствие кристаллических вкрапленников и продуктов вторичного изменения стеклофазы, связанных как с девитрификацией стекла, так и с его гидротермально-метаморфическими превращениями. При температуре 20° С указанные продукты не обладают сколько-нибудь заметной гидравлической активностью; в связи с этим активность пород, содержащих вкрапленники (кенженский пепел, пумицит, психурейский пемзовый песок) или продукты вторичных превращений стекла (анийская пемза), при твердении в нормальных условиях весьма мала (30—62  $мг CaO$ ). Гидротермальная обработка вызывает развитие реакций между вкрапленниками (кварц, полевой шпат), продуктами девитрификации стекла (тридимит, кристобалит, полевой шпат), гидротермально-метаморфического генезиса (цеолиты, опал и др.), с одной стороны, и известию — с другой, благодаря чему гидравлическая активность вулканических пород возрастает в 2—3 раза, хотя увеличение активности собственно вулканических стекол под влиянием повышения температуры составляет (на примере сырого перлита) всего 43—57%. Следует подчеркнуть, что наибольшее повышение активности при пропаривании характерно для пород, включающих тонкодисперсные продукты вторичных изменений стеклофазы, а при автоклавной обработке — для пород, обогащенных вкрапленниками кварца и полевых шпатов.

3. Величина удельной поверхности породы или вспученного материала. Представление о влиянии дисперсности на гидравлическую активность дают следующие цифры, характеризующие величину поглощения  $CaO$  1  $г$  сырого фонтанского перлита при 174,5° С: при удельной поверхности 2000  $см^2/г$  — 127  $мг$ , 3400  $см^2/г$  — 259  $мг$ , 6000  $см^2/г$  — 390  $мг$ .

Примерно такое же влияние оказывает увеличение удельной поверхности и на гидравлическую активность вспученных материалов.

4. Химический состав стеклофазы. Влияние состава вспученного стекла на его гидравлическую активность исследовано еще недостаточно. Однако можно предположить, что увеличение содержания в стекле кремнезема, глинозема и катионов щелочных металлов — калия и натрия вызывает возрастание гидравлической активности. Катионы кальция, магния и железа оказывают обратное влияние.

Скорость и величина поглощения СаО вулканическим стеклом существенно увеличиваются в присутствии аниона  $\text{SO}_4^{2-}$ , вводимого в большинство вяжущих в составе двухводного гипса. Гидравлическая активность пород и вспученных материалов возрастает (при одних и тех же условиях твердения) на 30—70%.

Состав продуктов, образующихся при взаимодействии вулканических стекол с гидроксидом кальция, зависит от температурных условий твердения бетона. При нормальном твердении бетона цементирующее вещество межзернового пространства слагается гелевидными (субмикросталлическими) гидросиликатами кальция группы CSH(B), а на периферии частиц стеклофазы возникает анизотропная кайма, представленная гидрогеленитом  $2\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ . Однако содержание последнего обычно весьма мало. При пропаривании (90—95°С) наблюдается небольшое увеличение основности гидросиликатов кальция, обусловленное появлением в их составе гелевидной фазы  $\text{C}_2\text{SH}_2$ . Одновременно изменяется характер гидроалюмосиликатов кальция: вместо пластинчатых кристалликов гидрогеленита образуются изометричные кристаллики малокремнеземистых гидрогранатов со средним составом  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 0,5\text{SiO}_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ .

Автоклавная обработка, существенно повышающая растворимость кремнезема стеклофазы, приводит к исчезновению гидросиликата кальция  $\text{C}_2\text{SH}_2$ , полностью замещаемого гелевидными гидросиликатами группы CSH(B), и к увеличению содержания кремнезема в гидросиликатах, состав которых изменяется до  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 1,2 = 1,5\text{SiO}_2 \cdot 3 = 3,6\text{H}_2\text{O}$ .

Следует подчеркнуть, что доля кристаллических фаз среди продуктов взаимодействия не превышает 5—10% при нормальном твердении и 10—20% при гидротермальной обработке. Гелевидные фазы, представленные гидросиликатами кальция CSH(B) и  $\text{C}_2\text{SH}_2$ , а также комплексными гидросиликатами (гидроалюмосиликатами) кальция и щелочных металлов (Бутт и др., 1958), составляют 80—95% общего количества продуктов реакции между вулканическими стеклами и  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Характерно, что степень гидратации стекла не влияет на состав продуктов реакции, благодаря чему цементирующее вещество в бетонах с сырым и вспученным перлитом обладает почти одинаковыми свойствами.

Присутствие двухводного гипса уменьшает скорость реакции и содержание кристаллических новообразований. Гидрогеленит при нормальном твердении вообще не возникает, а количество гидрогранатов заметно снижается, так что в образцах нормального твердения кристаллические гидроалюмосиликаты кальция не наблюдаются, а в пропаренных присутствуют в меньшем количестве, чем в аналогичных по условиям твердения образцах без гипса.

Среди продуктов твердения известково-перлитовых смесей в присутствии двухводного гипса появляется гелевидная водная кремнекислота, идентифицируемая по весьма низкому ( $N < 1,48$ ) светопреломлению, а также комплексные соединения типа гидросульфоалюминатов — гидросульфосиликоалюминатов кальция (Волженский и др., 1963). Все эти реакции сопровождаются значительным увеличением слабо связанной (адсорбированной, капиллярной и межслоевой) воды.

Использование портландцемента в качестве вяжущего вещества вместо извести приводит к росту основности гидросиликатов кальция в цементирующем веществе за счет присутствия двухосновного гидросиликата  $\text{C}_2\text{SH}_2$  и к небольшому повышению количества гидроалюмината кальция  $\text{C}_3\text{AH}_6$  (при нормальном твердении) или гидрогранатов (при водотепловой обработке). Однако и в этих условиях абсолютно преобладающие гелевидные фазы над кристаллическими.

Продукты взаимодействия вулканических стекол с известью или портландцементом обладают высокой удельной поверхностью, большим со-

держанием слабо связанной воды и при высыхании в процессе эксплуатации перлитобетонов могут вызывать значительные усадочные деформации (до 4—5 мм на 1 пог. м изделия). Однако такие большие усадки наблюдаются относительно редко, обычно их величина колеблется от 2,4 мм/м (Ершов, Хуторянский, 1966) до 0,7 мм/м (Зильберфарб, Сырова, 1964).

Обращает на себя внимание зависимость величины усадки от объемного веса и крупности использованного перлитового песка: чем тяжелее и крупнее перлитовый песок, тем меньше усадочные деформации. В связи с этим бетоны на мухорталинском (Зильберфарб, Сырова, 1964) и параванском (Татишвили и др., 1966) перлитовых песках, имеющих насыпной вес <math>< 80—600 \text{ кг/м}^3</math>, дают относительно небольшую усадку — не более 1,3 мм/м; бетоны на непрочных и легких песках закарпатских и армянских месторождений имеют усадку до 1,7—2 мм/м, а при содержании до 40% пылевидных фракций — до 2,4 мм/м (Ершов, Хуторянский, 1966).

Для выяснения причины усадочных деформаций цементных бетонов с перлитом (как тонкомолотым, так и с размером гранул 0,15—5 мм) были изготовлены бетоны четырех составов: на цементе и кварцевом песке, на цементе и перлитовом песке, на цементно-перлитовом вяжущем и кварцевом песке, на цементно-перлитовом вяжущем и перлитовом песке. Для опытов применен мухорталинский перлит: сырой для вяжущего и вспученный с насыпным весом  $400 \text{ кг/м}^3$  как заполнитель. Образцы в виде балок размером  $4 \times 4 \times 16 \text{ см}$  пропаривались с перерывом при  $90^\circ \text{C}$  в течение 2, 6, 2 час, после чего выдерживались в течение 270 суток в помещении лаборатории при  $20^\circ \text{C}$  с периодической фиксацией изменений их длины.

Установлено, что максимальная усадка, равная 1,14 мм/м, свойственна цементному бетону с вольским кварцевым песком. Замена цемента цементно-перлитовым вяжущим приводит не к росту усадочных деформаций, как можно было бы предположить, а к уменьшению усадки на 15—30%. Замена же монофракционного кварцевого заполнителя полифракционным перлитовым снижает величину воздушной усадки на 10—20% (последнее, вероятно, связано с уменьшением объема цементирующего вещества в перлитобетоне из-за меньшей межзерновой пустотности его). Проведенные исследования показали, что использование тонкомолотого перлита как компонента вяжущего не ухудшает деформативных свойств легких бетонов по сравнению с портландцементом. Допустимо применение и перлитового заполнителя, если он имеет достаточно высокий (более  $250 \text{ кг/м}^3$ ) насыпной объемный вес. Тогда реакции между цементом и поверхностью перлитовых зерен не изменяют физико-технических свойств последних, поскольку оболочка зерен вспученного перлита такого насыпного веса имеет толщину более 8—10 мк и не гидратируется на всю глубину даже при автоклавной обработке. Легкий перлит имеет значительно более тонкие перегородки между порами (1—3 мк) и почти такую же оболочку (2—5 мк), которая почти нацело превращается в ходе реакции с цементом (особенно при гидротермальной обработке) в гелевидные гидросиликаты и гидроалюмосиликаты кальция. В результате зерна заполнителя теряют способность сопротивляться сжимающим усилиям, обусловленным усадкой окружающего цементного камня, что приводит к появлению сетки мелких трещин в изделии. Указанные явления и обуславливают высокие усадочные деформации и низкую трещиностойкость перлитобетонов из мелкого и легкого перлитового песка закарпатских месторождений, изготовлявшихся в Киеве (Ершов, Хуторянский, 1966).

Таким образом, при использовании в качестве заполнителя цементных бетонов легкого и малопрочного вспученного перлитового песка



можно уменьшить его взаимодействие с вяжущими путем снижения величины удельной поверхности заполнителя, уменьшения температуры при твердении и замены портландцемента пуццолановым портландцементом или гипсоцементнопуццолановыми вяжущими, характеризующимися при твердении пониженной концентрацией СаО в жидкой фазе. В этих условиях можно сохранить практически без изменения физико-технические свойства заполнителя из вспученного перлита при умеренных усадочных деформациях и удовлетворительной трещиностойкости легкого перлитобетона.

Наоборот, в случае применения заполнителя из менее пористых материалов — перлитового песка с насыпным весом более  $250 \text{ кг/м}^3$ , пемзы, пепла, пумицита — выгодно всемерно интенсифицировать процессы взаимодействия перечисленных стекловатых заполнителей с вяжущими, так как улучшаются технические показатели бетона.

Весьма эффективно применение отходов от дробления и классификации вулканических стекловатых пород (перлитов, обсидианов, витрофинов, пемзы, пепла и др.) и вспученных заполнителей в качестве активного тонкомолотого компонента вяжущих и бетонов. В этом случае также необходимо активизировать контактные реакции вулканического стекла, для чего целесообразны весьма тонкий помол стекловатой добавки, введение щелочных активизаторов (извести или алитового портландцемента) и двуводного гипса, а также увеличение температуры гидротермальной обработки бетона. Применяя указанные рекомендации, можно получить легкие пропаренные и автоклавные известково-перлитовые и цементно-перлитовые бетоны с прочностью до  $70\text{--}90 \text{ кг/см}^2$  и объемным весом  $700 \text{ кг/м}^3$  при расходе извести  $100\text{--}150 \text{ кг/м}^3$  или цемента  $200\text{--}250 \text{ кг/м}^3$ .

Московский инженерно-строительный институт  
им. В. В. Куйбышева

Всесоюзный научно-исследовательский институт  
строительных материалов

С. М. КАГАН

## **ВЛИЯНИЕ ВСПУЧЕННОГО ПЕРЛИТОВОГО ПЕСКА НА ПРОЦЕСС ТВЕРДЕНИЯ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ ЦЕМЕНТНОГО РАСТВОРА И БЕТОНА**

Исследования фазовых и структурных изменений, происходящих в легких бетонах и растворах за длительный период времени, могут помочь оценке их долговечности. Методами дифференциально-термического и рентгеноструктурного анализов изучался состав новообразований цементно-перлитового раствора и аглопорито-перлитобетона. Параллельно проводились физико-механические испытания образцов для определения влияния физико-химических процессов на прочностные и деформативные свойства раствора и бетона.

Для изготовления опытных образцов применялся портландцемент Волковьского завода активностью  $495 \text{ кг/см}^2$  и вспученный перлитовый песок Закарпатского месторождения.

Цемент характеризовался следующим минералогическим составом клинкера (в объёмн. %):  $C_3S$  — 55,  $C_2S$  — 20,  $C_3A$  — 8,  $C_4AF$  — 13,  $K_2O + Na_2O$  — 1,6%.

Химический состав вслученного перлита (в %):  $SiO_2$  — 75,06,  $Al_2O_3$  — 13,90,  $Fe_2O_3$  — 1,80,  $CaO$  — 1,54,  $MgO$  — 0,12,  $Na_2O + K_2O$  — 5,7, п. п. п. — 1,59.

Отношение цемента к перлиту в растворах 1:5 (по объёму). В качестве эталона принимался цементный раствор на кварцевом песке.

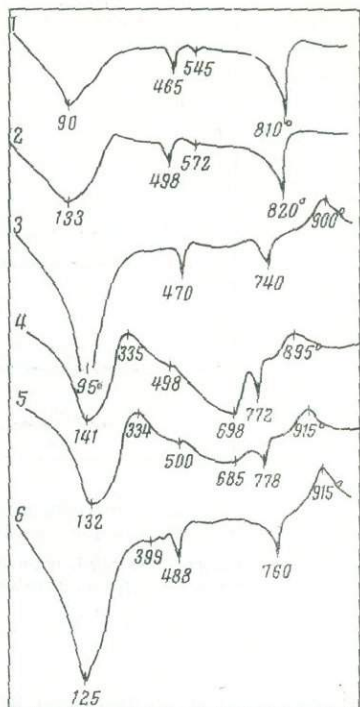
На фиг. 1 приведены термограммы исследуемых растворов. Характер кривых цементно-перлитового и песчано-кварцевого растворов непосредственно после автоклавной обработки довольно однотипен. Термограммы характеризуются одинаковыми эндотермическими эффектами. Первый (90—95°) свидетельствует об удалении слабо связанной воды, второй — о разложении  $Ca(OH)_2$  (465—498°). Высокотемпературный эндотермический эффект вызван диссоциацией кальцита. Для раствора на перлитовом песке он несколько сдвинут влево (740—780°) по сравнению с раствором на кварцевом песке (810—820°).

Экзотермический эффект при 900—915° наблюдается только на термограммах смесей с участием перлита. Его появление — результат взаимодействия активного кремнезема перлита со свободной известью и частично со щелочами цемента. Образуется  $CSH(V)$  с основностью 1,33 либо тоберморит (Будников, Зильбертгер, 1963) и частично гель — продукт взаимодействия кремнезема перлита с гидратированными  $C_3S$  и  $C_2S$  (Будников, Савельев и др., 1966).

Повышенное содержание аморфного кремнезема, потенциально способного к коррозионному взаимодействию со щелочами цемента, установлено на основании опытного определения реакционной способности перлита. Для закарпатского вслученного перлита оно составило 53,28 ммоль/л и для Арагацкого 83,25 ммоль/л. Однако длительные измерения деформаций расширения цементно-перлитового раствора свидетельствуют о том, что в результате взаимодействия  $SiO_2$  перлита с продуктами гидратации цемента не возникают большие внутренние напряжения, могущие существенно нарушить структуру бетона.

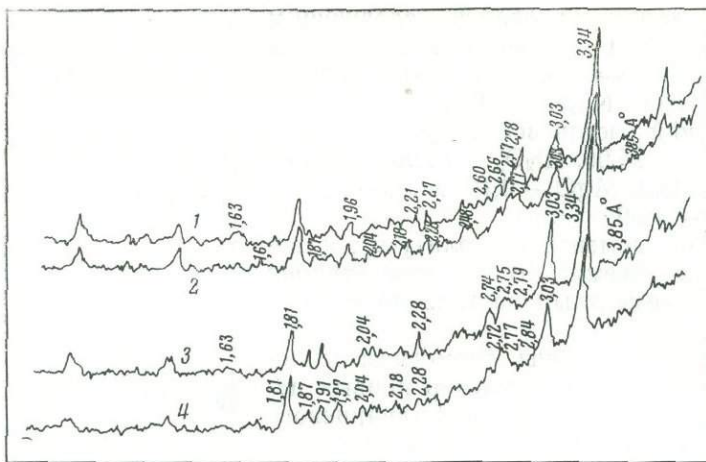
В процессе автоклавной обработки раствора не вся свободная известь связывается  $SiO_2$  и поэтому разложение  $Ca(OH)_2$  в цементно-перлитовом растворе фиксируется на термограмме эндотермическим эффектом (кривая 3).

С увеличением времени хранения образцов в воздушно-сухих условиях ( $W=50-60\%$ ,  $t=18\pm 2^\circ$ ) величина эффекта распада гидроксида кальция резко сокращается для цементно-перлитового раствора (кривые 4 и 5) и сохраняется без изменений для раствора на кварцевом песке. Эти данные, а также результаты определения величины рН, содержания свободного  $CaO$  и глубины карбонизации свидетельствуют о том, что



Фиг. 1. Термограммы цементных растворов

1 — на кварцевом песке после пропаривания; 2 — то же после твердения в течение 90 дней; 3 — на вслученном перлите после пропаривания; 4 — то же после твердения в течение 28 дней; 5 — то же, 90 дней; 6 — на вслученном перлите после нормального твердения в течение 90 дней



Фиг. 2. Рентгенограммы аглопоритоперлитобетона после выдержки в течение 2 лет

1 —  $d_v=1300 \text{ кг/м}^3$ , нормальные условия хранения; 2 — то же, воздушно-сухие; 3 —  $d_v=1200 \text{ кг/м}^3$ , нормальные условия хранения; 4 — то же, воздушно-сухие

значительное количество выделяющейся при твердении цемента свободной извести вступает во взаимодействие с углекислотой воздуха.

Скорость атмосферной карбонизации зависит от плотности бетона, что подтверждается рентгенограммами, представленными на фиг. 2. Интенсивность линий кальцита (3,03; 2,28; 1,87 Å) на рентгенограммах аглопоритоперлитобетона с объемным весом  $1200 \text{ кг/м}^3$  заметно больше, чем при  $1300 \text{ кг/м}^3$ . Увеличение глубины карбонизации с течением времени и наблюдаемое при этом изменение свойств бетона иллюстрируют данные, приведенные в табл. 1. Первые два образца имеют  $d_v=1300 \text{ кг/м}^3$ , влажность 95—100 и 50—60%,  $R_{сж}=133 \text{ кг/см}^2$ ; третий и четвертый соответственно:  $1200 \text{ кг/м}^3$ , 95—100, 50—60% и  $108 \text{ кг/см}^2$ .

Таблица 1

Зависимость глубины карбонизации ( $h$ ) бетона от времени

6 месяцев				1 год				2 года				Содержание свободной CaO, %
$R_{сж}$	$\omega$	$h$	pH	$R_{сж}$	$\omega$	$h$	pH	$R_{сж}$	$\omega$	$h$	pH	
185	20	0	11,6	207	14	0	12,3	212	18	0	11,4	0,12
148	8	7	11,6	167	8	15	12,3	142	6	45	10,6	Нет
144	18	0	11,5	152	15	0	12,2	157	13	3	10,9	0,09
120	9	10	11,4	123	4	22	12,1	112	3	47	9,9	Нет

Потеря прочности бетона по сравнению с нормальными условиями твердения составила через 1 год 19%, через 2 года — около 90%. Аналогичные результаты приводятся в литературе и для других видов бетона при хранении их в воздушно-сухой среде (Буалвич, Корнев, 1963 г.). Помимо изменения прочности, карбонизация оказывает существенное влияние на усадку раствора и бетона и на их деформационные свойства.

В табл. 2 приведены результаты определения величины модуля упругости  $E$  (в  $\text{кг}/\text{см}^2$ ), пределы сопротивления при поперечных деформациях  $R_{\text{пр}}$  (в  $\text{кг}/\text{см}^2$ ) и напряжения на границе трещинообразования  $R_{\text{T}}$  (в  $\text{кг}/\text{см}^2$ ) и границы образования микротрещин  $R_{\text{T}}/R_{\text{пр}}$  для растворов. В опытах  $R_{\text{T}}/R_{\text{пр}}$  устанавливалось по изменению скорости прохождения ультразвука через образец, а также по приращению поперечных деформаций, которые замерялись с помощью электрических датчиков сопротивления.

Таблица 2

**Прочностные свойства цементных растворов**

Раствор	Сразу после пропаривания			В возрасте					
				28 дней			90 дней		
	$R_{\text{пр}}$	$E$	$\frac{R_{\text{T}}}{R_{\text{пр}}}$	$R_{\text{пр}}$	$E$	$\frac{R_{\text{T}}}{R_{\text{пр}}}$	$R_{\text{пр}}$	$E$	$\frac{R_{\text{T}}}{R_{\text{пр}}}$
Цементно-перлитовый . . . . .	85	48 900	0,72	98	51 600	0,60	97	50 000	0,57
Цементно-песчаный	81	99 000	0,60	97	101 000	0,63	112	137 000	0,72

Из приведенных данных видно, что величина напряжения, соответствующая условной границе трещинообразования, и значение модуля упругости цементно-перлитового раствора со временем понижаются, что свидетельствует о происходящих структурных изменениях.

Таким образом, можно заключить, что наблюдаемые изменения фазового состава связаны со свойством перлита как активной кремнеземистой добавки, так и с интенсивным взаимодействием атмосферной углекислоты с продуктами гидратации цемента.

В результате фазовых и структурных изменений, происходящих при твердении цементно-перлитовых растворов и бетонов в воздушно-сухих условиях, наблюдается некоторое снижение прочности и ухудшение деформационных свойств. Необходимы дальнейшие исследования по изучению природы указанных явлений и разработке мер их предупреждения.

Минский государственный научно-исследовательский институт строительных материалов

Ю. В. ЛАБЗИНА

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕРЛИТО-КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ СПОСОБОМ ВИБРОВОЗДУХОВОВЛЕЧЕНИЯ**

К числу наиболее важных теплоизоляционных материалов на основе вспученного перлита относятся перлитокерамические изделия, предназначенные для изоляции горячих поверхностей технологического и энергетического оборудования.

Для получения перлитокерамики с небольшим объемным весом и высокими теплоизоляционными свойствами в состав формовочной массы вводят или большое количество перлитового песка — до 90—93% по

объему («Теплопроект»; НИИСМИ, г. Киев), или большое количество воды (150—250%) и полимерную добавку для повышения структурной прочности сформованного материала (Венгрия). Перлитокерамика этого способа изготовления имеет недостатки. Так, способ получения перлитокерамики, основанный на введении в состав материала большого количества воды и полимерной добавки, характеризуется большой продолжительностью сушки (до 36 час) и весьма низкой структурной прочностью сформованного изделия, что затрудняет его транспортировку и требует дополнительной тепловой обработки в формовочном цехе. При производстве перлитокерамики, основанном на введении в состав формовочной массы большого количества вспученного перлитового песка, трудно получить однородный материал при высоком расходе наиболее дорогого компонента смеси — вспученного перлита (1,5 м<sup>3</sup> на 1 м<sup>3</sup> изделий) и продолжительном цикле сушки (15—24 час).

В Московском инженерно-строительном институте им. В. В. Куйбышева совместно с Всесоюзным Научно-исследовательским институтом новых строительных материалов (ВНИИНСМ) и производственным предприятием «Центроэнерготеплоизоляция» была разработана новая технология перлитокерамических изделий, лишенная перечисленных недостатков. В основу новой технологии производства перлитокерамики положен вибрационный способ перемешивания формовочной массы с одновременным применением воздухововлекающих веществ и гипса в качестве стабилизатора воздушных пор (вибровоздухововлечение).

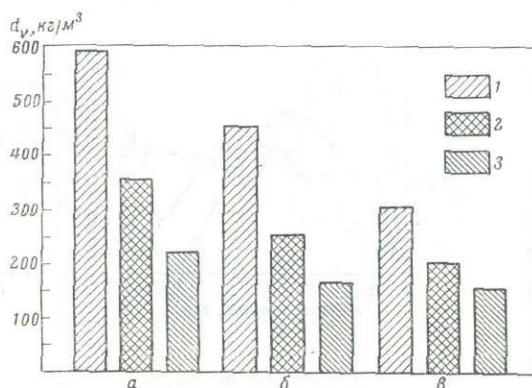
Согласно рабочей гипотезе, положенной в основу исследования, предусматривались следующие мероприятия: а) введение в состав формовочной массы воздухововлекающей добавки (ввд), что должно привести к снижению объемного веса и коэффициента теплопроводности изделий; б) применение вибрации в процессе перемешивания формовочной массы с воздухововлекающей добавкой, приводящей к резкому снижению предельного напряжения сдвига и вязкости массы вследствие тиксотропного разрушения структуры. Это создавало благоприятные условия для поризации массы за счет вовлеченного воздуха при пониженном отношении вода — твердое вещество; в) предполагалось, что введение в состав формовочной массы полуводного гипса и снижение оптимального отношения вода — твердое вещество за счет применения виброперемешивания приведет к повышению структурной прочности сформованных изделий и значительному сокращению их сушки.

При проведении исследования были использованы следующие материалы: вспученный перлитовый песок с насыпным объемным весом 80—120 кг/м<sup>3</sup>, получаемый обжигом перлита Арагацского месторождения; часоварская глина марок Ч-1, Ч-2, Ч-3, Ч-0 и полуводный гипс (нормальная густота 72%, начало схватывания через 3 мин, конец — 7 мин). В качестве воздухововлекающих добавок применялись ГК и некаль. Приготовление перлитокерамической массы проводилось в двухвалевых вибросмесителях конструкции ВНИИНСМ: ДВС-200П (периодического действия) и ДВС-100Н (непрерывного действия). Исследования показали, что введение в перлитокерамическую массу воздухововлекающих добавок и применение вибрации в процессе ее приготовления приводит к значительному снижению объемного веса изделий (фиг. 1). Так, при соотношении компонентов (в вес. %) глина (г): перлит (п) = 60 : 40 объемный вес изделий снижается с 590 до 230 кг/м<sup>3</sup>, а при отношении 50 : 50 — с 460 до 180 кг/м<sup>3</sup>. Причем снижению объемного веса изделий за счет интенсификации процесса воздухововлечения в значительной мере способствуют вибрационные воздействия на перемешиваемую массу. Выбор режима виброперемешивания и статистический анализ полученных данных по факториальной схеме показали, что в пределах значений, принятых в экспериментах, увеличение частоты колебаний и числа оборотов

лопастных валов приводит к снижению объемного веса изделий и что для каждого отношения глина : перлит при данной частоте существует оптимальная амплитуда колебаний, при которой происходит наибольшее вовлечение воздуха и наилучшее распределение его в виде мельчайших пузырьков по всему объему смеси. Для легких перлитокерамических изделий с объемным весом 200—250 кг/м<sup>3</sup> (г : п = 50 : 50) оптимальными оказались частота 1470 колеб/мин, амплитуда 1,0—1,2 мм, число оборотов лопастных валов 150 об/мин. Для более тяжелых изделий амплитуда колебаний должна быть увеличена (при г : п = 70 : 30 до 1,7—2,0 мм).

Фиг. 1. Влияние воздухововлекающей добавки и вибрации в процессе перемешивания на объемный вес перлитокерамики

1 — плотная перлитокерамика; 2 — перлитокерамика с воздухововлечением; 3 — перлитокерамика с вибро-воздухововлечением; а — отношение глины к перлиту 60/40; б — 50/50; в — 40/60



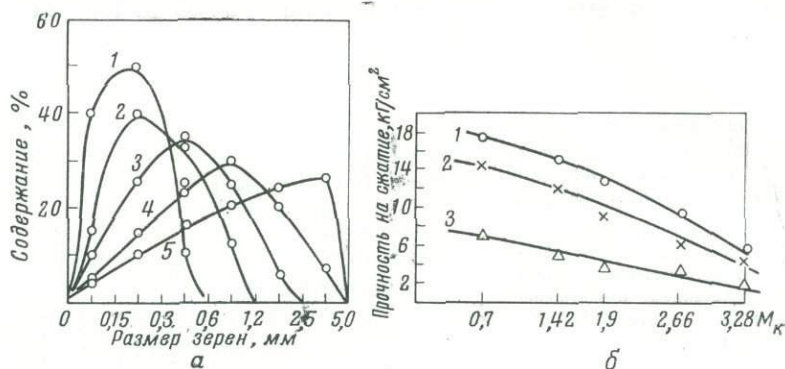
Введение воздухововлекающих добавок и воздействие вибрации на перемешиваемую массу позволяют снизить оптимальное отношение вода — твердая фаза формовочной массы на 35—45%.

Для исследования влияния вибрации на скорость физико-химических процессов, обуславливающих структурообразование в перлитокерамических массах, изучалась кинетика нарастания структурной прочности с помощью рычажного конического пластометра конструкции МГУ. По данным экспериментов, структурная прочность перлитокерамики, получаемой способом вибровоздухововлечения, примерно вдвое выше структурной прочности перлитокерамики, получаемой обычным способом перемешивания перлита и шликера. Это позволяет безопасно транспортировать изделия на поддонах в сушилку и применять резкие режимы их сушки (исследования проводились при  $t_{нач}$  150°, скорости теплоносителя 2 м/сек,  $\omega$  4%).

Пониженное водотвердое отношение и способность изделий воспринимать резкие режимы сушки обеспечивают сокращение срока сушки изделий до 10—12 час.

В связи с тем, что в данной работе для приготовления формовочной массы применен вибросмеситель, вопросу изменения гранулометрии перлита в процессе перемешивания компонентов было уделено особое внимание. Основной причиной разрушения перлита при изготовлении перлитокерамики по технологии НИИСМИ и «Теплопроекта» является большое внутреннее трение массы, обусловленное недостаточным количеством глинистого шликера для смазки зерен перлита (содержание глины составляет 30—40% по весу или 5—7% по объему). Увеличение в составе материала содержания глины до 50—60% по весу и введение поверхностно-активных веществ придают массе особые свойства — пластичность и упругость. Эффект пластификации массы при введении воздухововлекающих добавок обуславливается их адсорбционно-смазочными свойствами, образованием слоистой структуры тонких ориентированных пленок из молекул этих веществ на поверхности твердых частиц. Эффекту пластификации перлитокерамических масс способствуют также пузырьки вовлеченного воздуха. Действуя подобно буферам, они

препятствуют непосредственным контактам зерен перлита и разрушению их при перемещении относительно друг друга. Снижение вязкости (коэффициента внутреннего трения) перлитокерамической массы при воздействии вибрации также способствует сохранению зерен перлита в процессе перемешивания. Определение реологических свойств массы в стационарном состоянии и в процессе вибрирования, проведенное с помощью вискозиметра М. П. Воляровича, показало, что вязкость массы при воздействии вибрации уменьшается почти в 100 раз.



Фиг. 2. Зависимость механической прочности перлитокерамики от гранулометрического состава перлита

1 — модуль крупности 0,7; 2 — 1,42; 3 — 1,9; 4 — 2,66; 5 — 3,28; а — гранулометрический состав перлитового песка; б — влияние модуля крупности ( $M_k$ ) на прочность перлитокерамических масс с различным объемным весом: 1 — 270; 2 — 240; 3 — 200  $кг/м^3$

Ситовый анализ, выполненный лабораторией физико-химических испытаний ВНИИНСМ, показал, что происходит незначительное изменение гранулометрии перлитового песка в процессе перемешивания: содержание перлитовых зерен размером более 1 мм после перемешивания перлита со всеми остальными компонентами в вибросмесителе в течение 3 мин уменьшилось на 7%, а процент разрушенных более мелких зерен оказался еще меньшим.

Выявлялась зависимость свойств перлитокерамических изделий от многих технологических факторов: соотношения компонентов, гранулометрического состава перлита, режима сушки и обжига, вида примененной глины и др. Оптимальный состав для получения перлитокерамики с объемным весом 200—250  $кг/м^3$ : г/п = 50 : 50, ввд — 5—7%, гипса — 10% (сверх 100%).

Гранулометрия перлита в значительной степени влияет на прочность изделий. Так, с уменьшением модуля крупности с 3,28 до 0,7 прочность перлитокерамических изделий с объемным весом 200  $кг/м^3$  возрастает от 1,5 до 6,5  $кг/см^2$  (фиг. 2).

Природа глины оказывает значительное влияние на свойства перлитокерамики. Результаты исследования показали, что для производства перлитокерамики наиболее пригодны тонкодисперсные глины с высокой пластичностью и связующей способностью, относящиеся к монтмориллоновой и монотермитовой группам. При отсутствии таковых могут быть применены гидрослюдистые глины, однако объемный вес изделий при этом не должен быть ниже 300  $кг/м^3$ . Коалинитовые глины непригодны для производства перлитокерамики из-за плохой связующей способности их.

Способ вибровоздуховлечения позволяет изготавливать перлитокерамические изделия со следующими показателями физико-механических

свойств:  $d_0$  200—250 кг/м<sup>3</sup>,  $R_{сж}$  4—8 кг/см<sup>2</sup>,  $R_{изг}$  2,5—4 кг/см<sup>2</sup>,  $\lambda$  0,045—0,053 ккал/м·час·град при повышении его на 0,00010—0,00013 ккал/м·час·град на 1° С. Предельная температура применения перлитокерамики в зависимости от состава и температуры обжига составляет 820—900° С.

Опытное опробование в производственных условиях технологии перлитокерамики способом вибровоздухововлечения подтвердило способность изделий воспринимать резкие изменения режима сушки без деформации и растрескивания. Низкая формовочная влажность изделий и способность их воспринимать резкие режимы сушки позволяют значительно сократить цикл сушки изделий (до 10—12 час), снизить затраты топлива, электроэнергии и уменьшить трудоемкость производственного процесса.

Московский инженерно-строительный институт  
им. В. В. Куйбышева

Я. А. РЕКИТАР, К. А. СЕРГЕЕВА

## ВОПРОСЫ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЕРЛИТОВ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Современное строительство неразрывно связано с переходом на монтаж конструкций зданий из укрупненных элементов. Проблема укрупнения основных элементов зданий и сооружений неразрывно связана с максимальным снижением их веса.

Значительно снизить монтажный вес конструкций и уменьшить нагрузки можно за счет применения легких бетонов, технологические свойства которых позволяют уменьшить толщину ограждающих конструкций зданий, увеличить полезную площадь здания, а также снизить затраты по устройству фундаментов и т. д.

Кроме этого, снижение веса конструкции дает возможность сократить транспортные издержки и уменьшить трудовые затраты на строительной площадке, а в конечном счете сократить сроки возведения зданий и сооружений.

Одним из наиболее легких и эффективных с исключительно высокими теплотехническими и звукоизоляционными качествами материалов является бетон, изготовленный на основе вспученного перлита.

Производство вспученного перлита в нашей стране начато в последние 7—8 лет.

Вспученный перлит используется главным образом в строительстве для изготовления наружных стеновых конструкций.

В городах Шелехове и Иркутске построено свыше 100 тыс. м<sup>2</sup> жилой площади в домах из перлитобетона. Полностью освоено строительство жилых домов из перлитобетона в г. Улан-Удэ. Фактическая стоимость 1 м<sup>2</sup> жилой площади в доме из перлитобетона на 30 руб ниже, чем в таком же доме из кирпича.

Несмотря на то, что целесообразность использования перлита и изделий на его основе в различных отраслях народного хозяйства не вызывает сомнения, объем производства перлита составляет лишь 200 тыс. м<sup>3</sup> в год.



Руководители некоторых строительных организаций считают, что применение перлитобетона в строительстве экономически невыгодно. Обычно ссылаются на высокую фактическую себестоимость вспученного перлита, достигающую нередко 10—15 руб/м<sup>3</sup>.

Такая оценка экономической эффективности использования перлита в строительстве является в методологическом отношении неправильной.

Она должна учитывать следующие затраты в рублях на 1 м<sup>2</sup> наружных стен по формуле

$$П = [l(П_c + П_n) + l \cdot d_v \cdot (П_t + П_m) \mu] + \frac{C_э}{E_n},$$

где П — приведенные затраты, исчисляемые как С + E<sub>n</sub> К; С — себестоимость; К — капитальные вложения; E<sub>n</sub> — коэффициент экономической эффективности (0,15); П<sub>c</sub> — приведенные затраты, касающиеся сырья (породы и вспученного перлита); П<sub>n</sub> — то же, на переработку сырья (при изготовлении конструкции); П<sub>t</sub> — то же, на транспортировку конструкции; П<sub>m</sub> — то же, на монтаж конструкций; μ — коэффициент долговечности конструкций; C<sub>э</sub> — эксплуатационные затраты, связанные с применением данного вида конструкции (затраты на ремонт фасадов, расходы на отопление зданий); l — толщина стены; d<sub>v</sub> — объемный вес стенового материала.

В табл. 1 приведены вычисленные по указанной формуле сравнительные технико-экономические показатели перлитобетонных и других стено-

Таблица 1

Расчетные технико-экономические показатели взаимозаменяемых стеновых конструкций для жилых зданий в районах с расчетными температурами —36°С

Показатели	Перлитобетонные панели (d <sub>v</sub> =800 кг/м <sup>3</sup> )	Керамзитобетонные панели (d <sub>v</sub> =1000 кг/м <sup>3</sup> )	Газозолобетонные однослойные панели (d <sub>v</sub> =1200 кг/м <sup>3</sup> )	Трехслойные железобетонные панели (d <sub>v</sub> =300 кг/м <sup>3</sup> )	Кирпичная стена в 2,5 полнотелых кирпича
Толщина, см . . . . .	26	30	40	35	68
Вес, кг . . . . .	246	324	492	402	1260
Расход основных материалов . . . . .					
бетона, м <sup>3</sup> . . . . .	0,260	0,300	0,400	0,170	0,232
раствора, м <sup>3</sup> . . . . .	—	0,020	—	—	0,215
стали, кг . . . . .	6,8	7,8	11,5	11,5	2,28
кирпича, шт . . . . .	—	—	—	—	251
цемента, м <sup>3</sup> . . . . .	60,0	92,0	99,8	113,6	43,6
утеплителя, м <sup>3</sup> . . . . .	—	—	—	0,157	—
золы, м <sup>3</sup> . . . . .	—	—	0,647	—	—
щебня (песка), м <sup>3</sup> . . . . .	—	—	—	0,403	0,014
известн, кг . . . . .	—	—	9,5	—	—
перлита, м <sup>3</sup> . . . . .	0,390	—	—	—	—
керамзита, м <sup>3</sup> . . . . .	—	0,364	—	0,048	—
Затраты труда, чел·день . . . . .	0,47	0,49	0,55	0,56	1,350
Стоимость панели (франко-завод), руб . . . . .	7,6	9,15	8,5	11,9	—
Стоимость 1 м <sup>2</sup> стены в производстве, руб (С) . . . . .	9,8	11,9	11,5	14,04	14,26
Капитальные вложения в расчете на 1 м <sup>2</sup> стены (К), руб . . . . .	12,1	12,5	13,4	13,2	13,9
Приведенные затраты, руб . . . . .	11,7	13,8	13,5	16,0	16,4

Примечание. Расстояние транспортировки породы принято 500 км при d<sub>v</sub> перлита 300 кг/м<sup>3</sup>, перлитобетон марки М-50.

вых конструкций (в расчетах величина  $\mu$  и  $C_p$  не учитывалась). Приведенные затраты по перлитобетонной стене являются минимальными и на 2—4,7 руб меньше, чем по другим взаимозаменяемым материалам даже при условии перевозки породы на 500 км.

Следует отметить, и это видно из анализа структуры себестоимости 1 м<sup>2</sup> наружной стены, рассчитанной для района с расчетной температурой — 36° С (табл. 2), что удельный вес части затрат, зависящей от суммарной стоимости вспученного перлита, составляет лишь 10—15% суммарной стоимости 1 м<sup>2</sup> стеновой конструкции. Таким образом, фактор

Таблица 2

Количество и стоимость материалов для наружной стеновой панели

Материалы	Расход			Стоимость в руб. на 1 м <sup>2</sup> панели	
	на 1 м <sup>3</sup> бетона или раствора	на одну панель (5,33 м <sup>2</sup> )	на 1 м <sup>2</sup> панели	цена	сумма
<b>Перлитобетон М-50</b>					
Цемент М-400, т . . . . .	0,250	0,305	0,057	—	—
Вспученный перлит (щебень), м <sup>3</sup> . . . . .	1,25	1,525	0,286	—	—
Перлит (песок), м <sup>3</sup> . . . . .	0,25	0,305	0,057	—	—
Вода, м <sup>3</sup> . . . . .	0,36	0,420	0,08	—	—
<b>Фактурный слой, м<sup>3</sup></b>					
Цемент М-400 . . . . .	0,355	0,057	0,10	—	—
Песок кварцевый . . . . .	1,10	0,176	0,033	—	—
Вода . . . . .	0,269	0,043	0,008	—	—
<b>Общий расход</b>					
Цемент М-400, т . . . . .	—	—	0,07	14—00	0—98
Вспученный перлит (щебень), м <sup>3</sup> . . . . .	—	—	0,29	$C_p$	—
Вспученный перлит (песок), м <sup>3</sup> . . . . .	—	—	0,06	$C_p$	—
Кварцевый песок, м <sup>3</sup> . . . . .	—	—	0,033	3—20	0—11
Вода, м <sup>3</sup> . . . . .	—	—	0,087	0—10	0—01
<b>Арматурная сталь</b>					
М-25Г2С . . . . .	—	—	0,29	0—11	0—03
М-Ст3 . . . . .	—	—	0,44	0—09	0—04
М-Ст0 . . . . .	—	—	1,94	0—07	0—14

Примечание. Панель НС-3 толщиной 26 см из перлитобетона М-50 с объемным весом 800 кг/м<sup>3</sup> для жилых домов серии 1,464а. Объем бетона в панели 1,22 м<sup>3</sup>, фактурный слой 0,16 м<sup>3</sup>.

затрат непосредственно на перлит решающего влияния на стоимость конструкции не оказывает. Незначительное влияние на стоимость квадратного метра стеновых конструкций оказывает и расстояние транспортировки сырья (породы) от места его добычи до пункта производства вспученного перлита.

Это видно из следующих расчетов: 1) стоимость сырья и материалов 1 м<sup>2</sup> стены из перлитобетона 1,31 + 0,35  $C_p$ ; 2) стоимость переработки 4,6 руб. В сумме это составляет 5,91 + 0,35  $C_p$ . Сюда необходимо прибавить внезаводские расходы (4,5%), накладные расходы и плановые накопления. Таким образом, стоимость 1 м<sup>2</sup> панели составляет 8,44 + 0,36  $C_p$ .

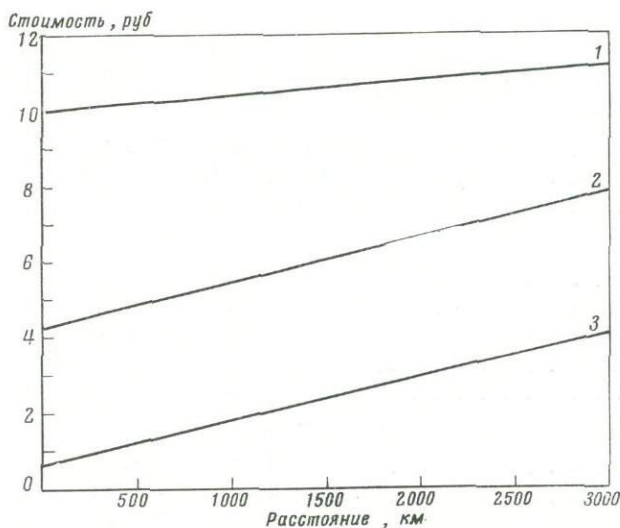
Зависимость себестоимости сырья, вспученного перлита и конструкций на его основе от расстояния транспортировки перлитовой породы графически представлена на схеме.

Таблица 3

Зависимость себестоимости конструкций из перлитобетона от заполнителя и расчетной зимней температуры района строительства

Себестоимость заполнителя, руб/м <sup>3</sup>	Стоимость 1 м <sup>2</sup> наружной стены при t, °С								d <sub>г</sub> , кг/м <sup>3</sup>
	-40		-30		-20		-10		
	толщина, см	себестоимость, руб	толщина, см	себестоимость, руб	толщина, см	себестоимость, руб	толщина, см	себестоимость, руб	
3,6	20	7,48	20	7,48	20	7,48	20	7,48	200/600
4,3	20	7,68	20	7,68	20	7,68	20	7,68	265/700
4,9	25	9,70	20	7,76	20	7,76	20	7,76	300/800
6,5	30	12,56	25	10,35	20	8,26	20	8,28	400/900
8,1	35	15,26	30	11,35	25	10,09	20	8,72	500/1100

Из этого графика видно, что при увеличении расстояния транспортировки сырья до 2000 км, несмотря на то, что стоимость породы увеличивается в 2,7 раза (с 2,95 до 8,08 руб/т), себестоимость перлита возрастает всего лишь с 3,9 до 5,3 руб/м<sup>3</sup>, а стоимость 1 м<sup>2</sup> конструкций увеличивается всего на 0,6 руб (5,7%).



Зависимость себестоимости сырья вспученного перлита и конструкций на его основе от расстояния транспортировки перлита-сырца

1 — стены сооружения; 2 — вспученного перлита; 3 — себестоимость сырья

При применении перлита в строительстве необходимо учитывать главным образом его объемный вес (табл. 3). Из данных табл. 3 видно, что в строительстве наиболее целесообразно использовать перлит с небольшим объемным весом прежде всего в районах с низкими расчетными температурами.

Себестоимость вспученного перлита на всех без исключения установках еще очень высока и составляет на 1 м<sup>2</sup> от 7—9 руб и выше, нередко достигая 12—15 руб. При создавшихся условиях добычи и производства вспученного перлита это закономерно.

Анализ технико-экономических показателей производства вспученного перлита позволил установить, что причиной высокой себестоимости за-

водского производства вспученного перлита в настоящее время является сравнительно небольшой среднегодовой мощностью установок. Более 50% установок имеют мощность от 5 до 10 тыс. м<sup>3</sup> в год, 20% свыше 20 тыс. м<sup>3</sup>, и лишь 3 установки имеют годовую мощность свыше 30 тыс. м<sup>3</sup>.

В Институте экономики строительства Госстроя СССР в 1965—1966 гг. проведены специальные исследования по выявлению путей повышения коэффициента использования оборудования на предприятиях. Эти расчеты показывают, что даже на современном уровне производства у предприятий мощностью 25 тыс м<sup>3</sup> расчетная себестоимость 1 м<sup>3</sup> вспученного перлита не должна превышать 5 руб. При дальнейшем увеличении мощности предприятия по производству вспученного перлита до 100 тыс м<sup>3</sup> себестоимость продукции снижается на 45%, а удельные капитальные вложения — на 30%.

Для прогнозных расчетов себестоимость переработки 1 м<sup>3</sup> перлита может быть определена из соотношения:  $Y = 9,8 \cdot X^{0,75}$ , где  $Y$  — общая сумма годовых затрат, связанная с производством перлита (затраты на переработку без учета стоимости сырья);  $X$  — мощность установки по производству вспученного перлита.

Не менее важный фактор, оказывающий большое влияние на экономику производства продукции, — коэффициент использования среднегодовой мощности установок. Этот коэффициент за 1965 г. составляет в среднем 0,4, изменяясь в зависимости от местных условий от 0,1 до 0,5, и лишь по отдельным предприятиям Восточной Сибири достигает 0,7—0,8.

Одной из причин неудовлетворительного использования мощностей является диспропорция между производством и потреблением перлита, а также несоответствие между ассортиментом (по фракционному составу) производимого вспученного перлита и требованиями потребителей. В связи с этим значительная часть производимой продукции искусственно попадает в отходы производства на данном предприятии. Вместе с тем эти отходы могли бы быть использованы при производстве теплоизоляционных материалов, в химической промышленности, сельском хозяйстве, металлургии.

В результате исследования условий производства установок, работающих на сырье Мухор-Талинского месторождения, выявлено, что превышение себестоимости единицы продукции на установках по производству вспученного перлита против плановых показателей происходит главным образом за счет условно-постоянной части цеховых расходов.

Если повысить коэффициент использования мощности до предусмотренного планом, то только этот фактор даст возможность снизить себестоимость вспученной породы не менее чем на 15—20%.

Если перераспределить затраты на производство вспученного перлита на весь фактически производимый перлит, а не только на тот, который используется в строительстве для производства легких бетонов, себестоимость еще может быть дополнительно снижена на 10—15%.

Немаловажным фактором, повышающим себестоимость вспученного перлита, является также высокая себестоимость сырья для производства вспученного перлита.

Анализ технико-экономических показателей добычи сырья на карьере «Татарский Ключ» (Мухор-Талинское месторождение) свидетельствует о том, что фактическая себестоимость добычи сырья значительно превышает нормативную. Причин, обусловивших это, много. В организацию карьерного хозяйства вложены уже значительные средства, проведена шоссейная дорога, подведена электросеть, создан карьер с годовой мощностью 100 тыс. м<sup>3</sup>.

Стоимость основных фондов этого карьера, включая жилищное строительство, составляет по состоянию на 1 января 1966 г. свыше 1 млн. руб.

Коэффициент использования этих фондов исключительно низок, в силу чего фактическая фондоотдача основных средств в пять раз ниже, чем предусмотрено проектом.

Фактическая себестоимость добычи перлитовой породы (франко-карьер) составляет 3,7 руб, в том числе накладные расходы 1,8.

В настоящее время в карьерах по добыче перлитовой породы ведется только добыча сырья. Последующие процессы обработки и подготовки сырья к сушке и обжигу ведутся непосредственно на установках. Сырье в виде породы перевозится за сотни, а иногда и тысячи километров, где дробится на мелких, плохо оснащенных установках. Необходимость подготовки сырья непосредственно на месте приводит к большому (более чем на 50%) увеличению удельных капитальных вложений на установках, а также загружает транспорт излишними перевозками (в настоящее время потери при дроблении составляют свыше 25%).

Расчеты показывают, что централизация и концентрация дробильно-сортировочных процессов сырья непосредственно на месте его добычи дадут возможность снизить себестоимость вспученного перлита не менее чем на 20% и позволят сократить капитальные вложения на производство вспученного перлита на 40—50%. Это даст возможность специализировать установки по производству вспученного перлита для получения фракций определенного состава.

Правильная организация работ, концентрация и комбинирование дробильно-сортировочных и обогатительных процессов на карьере, увеличение мощности предприятий и коэффициента их использования при комплексном использовании сырья дадут возможность производить перлит себестоимостью не более 4,5 руб за 1 м<sup>3</sup>. Реализация указанных выше резервов позволит еще более повысить эффективность применения перлитобетона в строительстве.

Институт экономики строительства  
Госстроя СССР

## ЛИТЕРАТУРА

- Абих Г. Геология Армянского нагорья. Орографическое и геологическое описание, ч. I.— Записки Кавказск. отд. Имп. русск. геогр. об-ва, кн. 21, 1899.
- Авдонин В. Н. Гиалобазальты из зеленокаменной полосы Ивдельского района Свердловской области.— В кн.: Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала. Труды Первого Уральского петрогр. совещ., т. 2. Свердловск, 1963.
- Авдонин В. Н., Емелин Э. Ф. Стеклосодержащие эффузивы из зеленокаменной полосы Северного Урала.— В кн.: Базальтоидный магматизм и его металлогения. Тезисы докладов на Втором Уральском петрогр. совещ., вып. 3. Свердловск, 1966.
- Адлер Ю. П., Рохваргер А. Е. Изучение кинетики термической поризации перлита с помощью планирования эксперимента.— Заводская лаборатория, т. 32, № 1, 1966.
- Акопян Г. Г., Стадник В. Н. О влиянии различных режимов обжига перлита во вращающейся печи на свойства продукции.— Научные обобщения Арм. ин-та строит. материалов, вып. 2. Ереван, 1962.
- Акопян Г. Г. Термообработка перлитов.— Промышленность Армении, № 5, 1964.
- Акопян Г. Г. К исследованию влияния режимов термообработки на свойства перлитов.— В кн.: Вопросы применения перлита в строительстве. Ереван, 1964.
- Акопян Г. Г., Исраелян В. Р. К изучению пористой структуры кислых водосодержащих стекол.— В кн.: Строительные материалы, детали и изделия, вып. 6. Киев, 1966.
- Алексейчик С. Н., Стефаненко А. Я. Основные черты тектоники Юго-Восточной Монголии.— Сов. геология, сб. 24, М., 1947.
- Амарян В. М. Стратиграфическая схема неогеновых и четвертичных вулканических образований района горы Арагац.— Докл. АН АрмССР, т. 36, № 5, 1963.
- Антипин В. Н. О вулканических стеклах хребта Цаган-Хунтей.— Изв. высш. учеб. завед. Геология и разведка, № 12, 1958.
- Апрежков С. Е., Шеймович В. С. Плиоценовые экстрезии юго-восточной Камчатки.— В кн.: Вулканизм Камчатки и некоторых других районов СССР. М., 1963.
- Апрежков С. Е. Геология позднепалеогеновых и четвертичных вулканов хребта Ивулк на Камчатке.— Труды Второго Всес. вулканол. совещ., т. 2, М., 1966.
- Арсеньев А. А., Нечаев Е. А. Краткий очерк вулканизма Удинско-Хилокского междуречья (Западное Забайкалье).— Труды ИГН АН СССР, вып. 128, серия геол., 1951.
- Асланян А. Т. Региональная геология Армении. Ереван, 1958.
- Ацагорцян З. А., Акопян Г. Г. Перлитовые породы Армении.— Труды Института камня и силикатов, вып. 2. Ереван, 1965.
- Бальян С. П. К истории формирования и возраста вулканического нагорья Армении.— Тезисы докладов (Ереванский гос. ун-т, 43-я научная сессия), Ереван, 1963.
- Батунер Л. М., Позин М. Е. Математические методы в химической технике. Л., 1963.
- Баширина Л. А. Фумарольная деятельность вулкана Безымянного в 1956—1957 гг.— Бюллетень вулканол. станции АН СССР, № 22, 1960.
- Баширина Л. А. Вулканические газы на различных стадиях активности вулканов.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, вып. 19, 1961.
- Беликов Б. П. Методы исследований физико-механических свойств горных пород.— В сб.: Физико-механические свойства горных пород. Изд-во «Наука», 1964.
- Белов И. В. Перспективы использования в строительстве мезо-кайнозойских лав, вулканических стекол и туфов в Прибайкалье.— В сб.: Материалы Бурят-Монгол. регион. совещ. по развитию производит. сил Вост. Сибири. Улан-Удэ, 1958.
- Белов И. В. Трахибазальтовая формация Прибайкалья. Изд-во АН СССР, 1963.
- Билибина Т. В. О наземном вулканизме в районе Мугуджар.— В кн.: Магматизм, метаморфизм и металлогения Урала. Труды Первого Уральского петрогр. совещ., т. 2. Свердловск, 1963.
- Богацкий В. В. Магматический анализ разведочной сети. Госгеолтехиздат, 1963.

- Борисов О. Г. Вторичные фумаролы агломератового потока вулкана Безымянного и основной источник их питания к концу 1958 г.— Бюллетень Вулканол. станции АН СССР, № 29, 1960.
- Борзунов В. М. Геолого-промышленная оценка месторождений нерудного минерального сырья. Изд-во «Недра», 1965.
- Брайцева О. А., Краевая Т. С., Шеймович В. С. О происхождении Курильского озера и пемз района.— В кн.: Вопросы географии Камчатки, вып. 3. Петропавловск-Камчатский, 1965.
- Будников П. П., Волярович М. П., Полинковская А. И., Явиц И. Н. Исследование характера вспучивания некоторых вулканических водосодержащих стекол методом киносъемки.— Строит. материалы, № 3, 1963.
- Будников П. П., Зильберфарб П. М. Строит. материалы, № 7, 1963.
- Будников П. П., Савельев В. Г., Петровых П. М. Свойства перлита Береговского месторождения.— Строит. материалы, № 4, 1964.
- Буз М. А. Постановка и решение краевой задачи о вспучивании (перлита).— Сборник трудов Всес. науч.-исслед. ин-та строит. материалов и конструкций, № 7, 1966.
- Бужевич Г. А., Корнев Н. А. Керамзитожелезобетон. М., 1963.
- Бутт Ю. М., Майер А. А., Мануйлова Н. С. Взаимодействие полевых шпатов с известью в условиях автоклавной обработки.— Сборник трудов Респ. науч.-исслед. ин-та местных строит. материалов, № 14, Госстройиздат, 1958.
- Варданянц Л. А. Новая схема корреляции постплиоцена Кавказско-Черноморско-Каспийской области.— Докл. АН АрмССР, т. 7, № 5, 1947.
- Варужанян А. А. Прибор для определения вязкости силикатных материалов в интервале  $10^8$ — $10^{15}$  пауз под давлением газов.— Заводская лаборатория, т. 32, № 12, 1966.
- Вегуни А. Т. Об олигоцене Южной Армении.— Сборник науч. трудов Ереванск. политехн. ин-та, серия геол., вып. 3, № 13, 1956.
- Вегуни А. Т. Месторождения перлита в Армении.— Разведка и охрана недр, № 11, 1958.
- Вегуни А. Т., Сагателян К. М. Перлиты Армении.— В кн.: Вопросы применения перлита в строительстве. Ереван, 1964.
- Вегуни А. Т. Некоторые закономерности верхнетретичного вулканизма Армянского нагорья.— Труды Второго Всес. вулканол. совещ., т. 2, М., 1966.
- Вентцель Е. С. Теория вероятностей. Физматгиз, 1958.
- Вершинина В. В. О свойствах и условиях вспучивания витрофиров Семейтаусского месторождения.— Строит. материалы, № 3, 1959.
- Виноградов Б. Н. Фазовые превращения в теплоизоляционном перлитобетоне при температурах 20—1000° С.— Сборник трудов Всес. науч.-исслед. ин-та строит. материалов и конструкций, № 5, 1965.
- Виноградов Б. Н. Особенности взаимодействия перлитового заполнителя с вяжущими веществами при твердении бетонов.— В сб.: Строительные материалы, детали и изделия, № 6. Киев, 1966.
- Влодавец В. И. Даригангская вулканическая область.— Докл. АН СССР, № 5, 1950.
- Влодавец В. И. О некоторых чертах кайнозойского вулканизма Даригангской области Монголии.— В кн.: Вопросы геологии Азии, т. 2. Изд-во АН СССР, 1955.
- Влодавец В. И. Процессы, порождающие пирокластический материал и его первичное перемещение.— В кн.: Проблемы вулканизма. Ереван, 1959.
- Волярович М. П., Леонтьева А. А. Исследование вязкости обсидианов в связи с вопросом генезиса пемзы.— Докл. АН СССР, т. 17, № 8, 1937.
- Волярович М. П., Чепурин В. П. Опыты по нагреванию обсидианов под давлением в связи с вопросом генезиса пемзы.— Записки Всерос. минерал. об-ва, серия 2, ч. 73, № 1, 1944.
- Волженский А. В., Коган Г. С., Краснослободская З. С. Влияние активного кремнезема на процессы взаимодействия алюминатных составляющих портландцементного клинкера с гипсом.— Строит. материалы, № 1, 1963.
- Волянюк Н. Я. К петрографии пород месторождения вулканических стекол Мухорталы в Западном Забайкалье.— Записки Вост.-Сиб. отд. Всес. минерал. об-ва, вып. 3. Иркутск, 1962.
- Габриелян А. А. Основные вопросы тектоники Армении. Ереван, 1959.
- Габриелян А. А. Палеоген и неоген Армянской ССР. Ереван, Изд-во АН АрмССР, 1964.
- Генциффт Ю. С., Наседкин В. В., Рябинин Ю. Н., Петров В. П. Превращения в щелочном базальте при высоких давлениях и температурах в присутствии воды.— Изв. АН СССР, серия геол., № 6, 1967.
- Горностаев Н. Н. Дифференцированный экструзивный лакколит Кыз-Емчик в горах Семей-тау близ г. Семипалатинска.— Сборник работ по геологии Сибири. Томск, 1933.
- Горшков Г. С. Извержение сопки Безымянной.— Бюллетень вулканол. станции АН СССР, № 26, 1957.

- Гуцалюк В. А. Об условиях залегания и сохранности древних вулканических стекол в горах Семей-тау.— Вестник АН КазахССР, № 7, 1962.
- Дугэрсурэн Ж., Храпов А. А. О перлитах МНР.— В кн.: Материалы по геологии Монгольской Народной Республики. М., 1966.
- Еворенко Г. И. Вспучивание перлита баротермальным способом.— Строит. материалы, № 2, 1966.
- Евстропьев К. С., Торопов Н. А. Химия кремния и физическая химия силикатов. Промстройиздат, 1956.
- Егорова Т. С., Каливидзе В. И., Киселев В. Ф. О природе связи воды с поверхностью кремнезема.— Докл. АН СССР, т. 5, № 4, 1958.
- Ершов Л. Д., Хуторянский М. С. Легкие бетоны на перлитовом песке для крупнопанельного строительства.— Бетон и железобетон, № 6, 1966.
- Еремеев В. П. Четвертичные базальты Восточной Тувы.— В кн.: Вулканизм Камчатки и некоторых других районов СССР. Изд-во АН СССР, 1963.
- Истомин А. Н., Сальменова К. З. Новые данные о нижнетриасовом возрасте семейтаусского вулканогенного комплекса пород.— Вестник АН КазахССР, № 9, 1964.
- Истомин А. Н. Семейтаусский вулканогенный комплекс и пути практического использования его пород.— Автореф. канд. дисс. Алма-Ата, 1965.
- Жданов С. П. К вопросу о роли поверхностных гидроксильных групп пористого стекла в адсорбции.— Ж. физ. хим., т. 32, вып. 3, 1958.
- Желубовский Ю. С. Четвертичные вулканы Монголии.— Изв. АН СССР, серия геогр., № 5, 1958.
- Жуков А. В. Искусственные пористые заполнители из горных пород. Киев, 1692.
- Жуков А. В., Тимофеева Н. М. Исследование термооптических свойств перлитовых пород.— Вестник АН СССР и АН УССР, № 1, 1962.
- Жуков А. В., Байвель И. Я., Солоненко И. С. Вспученный перлит. Госстройиздат УССР, 1960.
- Жуков А. В., Прохорчук В. В., Байвель И. Я., Арбитман С. П. К вопросу о создании в СССР промышленного производства перлитовых фильтровальных порошков.— В кн.: Стройматериалы, детали и изделия, вып. 6. Киев, 1966.
- Забелин В. А. Исследование опалов и опалосодержащих пород адсорбционно-структурным методом.— Докл. АН СССР, т. 139, № 2, 1965.
- Заварицкий А. Н. Гора Магнитная и ее месторождение железных руд.— Труды Геолокома, вып. 122. М., 1922.
- Заварицкий А. Н. Некоторые черты новейшего вулканизма Армении.— Изв. АН СССР, серия геол., № 1, 1945.
- Заварицкий А. Н. Вулкан Голгат и его продукты.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, № 7, 1953.
- Залесский Б. В. Применение вулканических туфов и туфолов в качестве строительного материала.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, вып. 20, 1961.
- Залесский Б. В., Петров В. П. Арктическое месторождение туфовых лав.— Труды Петрогр. ин-та АН СССР, вып. 1, 1931.
- Зильберфарб П. М., Сырова В. Н. Влияние продолжительности пропаривания на прочность и усадку перлитобетона.— Сборник трудов Всес. науч.-исслед. ин-та строит. материалов и конструкций, № 2, 1964.
- Каменецкий С. П. Перлиты. Госстройиздат, 1963.
- Карапетян К. И. Вулкан Далик.— Изв. АН АрмССР, серия геол. и геогр. наук, т. 12, № 4, 1959.
- Карапетян О. Т. Новейшие вулканические продукты Армении и их практическое значение.— Труды Второго Всес. съезда геологов. Ташкент, 1932.
- Карапетян С. Г. Шаровидные образования в обсидианах западных склонов Зангезурского хребта (Армянская ССР).— Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 90, 1963.
- Карапетян С. Г. Куполовидные вулканы Артени и Атис.— Изв. АН АрмССР, серия науки о Земле, т. 17, № 3—4, 1964.
- Карапетян С. Г. Центры извержений плиоценовых кислых пород Армении.— Труды Второго Всес. вулканол. совещ., т. 2. Изд-во «Наука», 1966.
- Карапетян С. Г., Сагателян К. М. Обсидианы, перлиты, литоидные пемзы.— В кн.: Геология Армянской ССР, т. 7. Ереван, 1966.
- Кашкай М. А. Геолого-петрографический очерк района минеральных источников Истису в Курдистане и их геохимическая характеристика. Изд-во АН АзССР, 1939.
- Кашкай М. А. Пехштейн из Кельбаджарского района (Азербайджанская ССР).— В кн.: Вопросы петрографии и минералогии, т. 1. Изд-во АН СССР, 1953.
- Кашкай М. А. Геология верховьев р. Тертер (Курортный район Исти-су). Изд-во АН АзССР, 1955.
- Кашкай М. А., Мамедов А. И. Перлиты и обсидианы Азербайджана.— Докл. АН АзССР, т. 12, № 6, 1956.
- Кашкай М. А., Мамедов А. И. Перлиты и обсидианы.— В кн.: Геология Азербайджана, т. 5. Нерудн. полезн. ископ. Изд-во АН АзССР, 1957.
- Кашкай М. А., Мамедов А. И. Перлиты, обсидианы, пехштейны и их минералого-петрографические и физико-химические особенности. Изд-во АН АзССР, 1961.



- Ким Ын Сан.* Вязкость натрий-кальций-магний-алюмосиликатных стекол в области температур отжига.— Автореф. канд. дисс. Л., 1952.
- Классификация вулканогенных обломочных горных пород. Госгеолтехиздат, 1962.
- Ковальский Ф. И.* Особенности строения и условия образования месторождений перлита Мухор-Талинской группы и перспективы их промышленного освоения.— В кн.: Вопросы геологии Прибайкалья и Забайкалья, вып. 1 (3). Чита, 1966.
- Ковальский Ф. И., Солонинко И. С.* Новые геологические данные о вулканических стеклах Мухор-Малинской группы месторождений (Бурятская АССР).— Сборник научных работ Киевск. ун-та, № 3, 1966.
- Ковальский Ф. И., Сергеев Н. И., Тарасова В. Н.* Комплексное использование перлитов Мухор-Талинского месторождения.— Сборник трудов Всес. науч.-исслед. ин-та строит. материалов и конструкций, № 9 (37), 1967.
- Коллинз Р.* Течения жидкостей через пористые материалы. Изд-во «Мир», 1964.
- Корнев Н. А., Ростомян Л. Ф.* Экспериментально-теоретические исследования перлитобетона для несущих и ограждающих конструкций.— В кн.: Строительные материалы, детали и конструкции, вып. 6. Киев, 1966.
- Костик Г. А., Костик И. Е., Милецкий Б. Е.* Путеводитель Мугоджарской экскурсии. Второе Уральское петрогр. совещ. Свердловск, 1966.
- Крупа А. А.* Особенности перлитового сырья Элиген-Булакского месторождения МНР.— Строительная информация, № 3, Улан-Батор, 1965.
- Кузнецов Ю. А.* Главные типы магматических формаций. Изд-во «Недра», 1964.
- Лазаренко Н. И.* Нерудные полезные ископаемые полуострова Камчатка и Корякского национального округа.— Разведка недр, № 7, 1940.
- Лебедев П. И.* Месторождения пемзы Алагеза (Арагаца).— Труды Петрогр. ин-та, вып. 1, 1931а.
- Лебедев П. И.* Вулкан Алагез и его лавы.— В кн.: Алагез. Потухший вулкан Армянского нагорья, т. 1. Изд-во АН СССР, 1931б.
- Лебединский В. И.* Новые данные о генезисе спилито-кератофировой формации Горного Крыма.— В кн.: Проблемы магмы и генезиса изверженных горных пород. Изд-во АН СССР, 1963.
- Лебединский В. И.* К проблеме спилитов.— Изв. АН СССР, серия геол., № 5, 1966.
- Лебединский В. И., Макаров Н. Н.* Вулканизм Горного Крыма. Изд-во АН УССР, 1962.
- Леви Ж.* Легкие бетоны. Приготовление, свойства, применение. Госстройиздат, 1958.
- Левинсон-Лессинг Ф. Ю., Дьяконова-Савельева Е. Н.* Вулканическая группа Карадага в Крыму. М.— Л., Изд-во АН СССР, 1933.
- Леонтьева А. А.* Измерение вязкости обсидианов и водосодержащих стекол.— Изв. АН СССР, серия геол., № 2, 1940.
- Лыков А. В.* Явления переноса в капиллярно-пористых телах. Гостехиздат, 1954.
- Майдар Д., Крупа А. А.* Вспученный перлит в Монголии.— Строит. материалы, № 1, 1965.
- Малеев Е. Ф.* Перспективы поисков перлита в Закарпатье.— Разведка и охрана недр, № 11, 1959а.
- Малеев Е. Ф.* О петрографических принципах классификации вулканических пород.— В кн.: Проблемы вулканизма. Ереван, 1959б.
- Малеев Е. Ф.* Неогеновый вулканизм Закарпатье. Изд-во «Наука», 1964.
- Малеев Е. Ф.* Типы кислого вулканизма.— Докл. АН СССР, т. 196, № 5, 1966.
- Мамедов А. И., Алиев А. Г., Гольденфарб А. И.* Оптимальные режимы вспучивания перлитов и обсидианов Кельбаджарского месторождения.— Строит. материалы, № 7, 1958.
- Мамедов А. И., Алиев А. Г., Гольденфарб А. И.* Легкие вспученные материалы для бетонов и термозоляционных изделий из азербайджанских перлитов и обсидианов.— Изв. АН АзССР, серия геол.-геогр. наук, № 3, 1959.
- Мануйлова Н. С.* Микроструктура природных перлитов и ее изменение в процессе вспучивания.— Сборник трудов Респ. науч.-исслед. ин-та местных строит. материалов, № 19, Росстройиздат, 1961.
- Мануйлова Н. С.* Физико-химические процессы, обуславливающие вспучивание перлитов.— Сборник трудов Респ. науч.-исслед. ин-та местных строит. материалов, № 23, 1962.
- Мануйлова Н. С., Варшал Б. Г., Майер А. А.* Исследование структуры и некоторых физико-химических свойств перлитов.— Сборник трудов Респ. науч.-исслед. ин-та местных строит. материалов, № 25, Госстройиздат, 1962.
- Мануйлова Н. С., Столовичкая М. М., Вебер С. И.* О влиянии структуры и текстуры перлитовых пород на их вспучиваемость.— Сборник трудов Респ. науч.-исслед. ин-та местных строит. материалов, № 25, Госстройиздат, 1962.
- Мануйлова Н. С., Наседкин В. В., Петров В. П., Полицковская А. И.* Петрография и практическое значение перлитов Мухор-Тала (Бурятская АССР).— Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 48, 1961.
- Марков А. К.* Некоторые новые данные о трассах Карадага в Крыму.— Изв. Моск. геологоразвед. треста, т. 2, вып. 3, 1934.
- Мельников М. П.* Кулибинит.— Записки СПб. минерал. об-ва, серия 2, ч. 28, 1891.
- Мелконян Г. С.* Гидротермальный способ получения натриево-кальциевого силиката —

- сырья для стекольной промышленности.— Сборник трудов Науч.-исслед. ин-та камня и силикатов, вып. 2, Ереван, 1965.
- Методическое руководство по определению физических свойств горных пород и полезных ископаемых. Госгеолтехиздат, 1962.
- Микаелян А. Т. К характеристике текстур вулканических шлаков.— Изв. АН АрмССР, серия науки о Земле, т. 19, № 1—2, 1966.
- Милановский Е. Е. О неогеновом и антропогеновом вулканизме М. Кавказа.— Изв. АН СССР, серия геол., № 10, 1956.
- Мониг В. К. Изверженные породы семейтауского комплекса.— Изв. АН КазахССР, серия геол., вып. 11, 1949.
- Набоко С. И. Вулканические экзгалакции и продукты их реакций. Изд-во АН СССР, 1959.
- Набоко С. И. Гидротермальный метаморфизм пород в вулканических областях. Изд-во АН СССР, 1963.
- Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. Изд-во «Наука», 1965.
- Налимов В. В. Применение математической статистики при анализе вещества. Физматгиз, 1960.
- Наседкин В. В. Петрографические критерии промышленного использования игнимбритов.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, вып. 20, Изд-во АН СССР, 1961.
- Наседкин В. В. Водосодержащие вулканические стекла кислого состава, их генезис и изменения.— Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 98, 1963.
- Наседкин В. В., Зиборова Т. А. Минералогия трититовых пород Арteni (Армения) и значение тритимита в эффузивных минеральных парагенезисах.— Изв. АН СССР, серия геол., № 1, 1968.
- Наседкин В. В., Панеш В. И. Гидроксил и вода в некоторых разновидностях природных и искусственных силикатных стекол.— В кн.: Водные вулканические стекла и поствулканические минералы. Изд-во «Наука», 1967.
- Наседкин В. В., Явиц И. Н. Фазовая неоднородность вулканического стекла кислого состава, ее влияние на качество вспученного перлита.— Труды Шестого совещ. по эксперим. и техн. минерал. и петр. Изд-во АН СССР, 1962.
- Нефедьева Е. А. Агмаганское вулканическое нагорье (Краткий геоморфологический и палеогеографический очерк).— Труды Ин-та геогр. АН СССР, вып. 47, 1950.
- Николаев Н. И. О четвертичных тектонических движениях и возрасте рельефа Центрального Кавказа и Предкавказья.— Докл. АН СССР, т. 30, № 1, 1941.
- Нырков А. А., Кобилев А. Г. Термоаналитическое изучение цеолитов.— Труды Шестого совещ. по эксперим. и техн. минерал. и петр. Изд-во АН СССР, 1962.
- Ованесян М. Д. О различии промышленных и вулканических шлаков.— Сборник докладов на первой и второй науч.-техн. конференциях Респ. науч.-техн. об-ва АрмССР. Ереван, 1966а.
- Ованесян М. Д. Некоторые особенности вулканических стекол основного состава.— Сборник научных докладов аспирантов Науч.-исслед. ин-та камня и силикатов, вып. 2, Ереван, 1966б.
- Ованесян М. Д. Аванский тип извержения шлаков.— Труды Науч.-исслед. ин-та камня и силикатов, вып. 4, Ереван, 1966в.
- Окнова Т. М. К петрографии базальтов Монголии и Тувы.— Труды Монгольской комиссии, вып. 2, № 37. Изд-во АН СССР, 1940.
- Охотин М. В. Зависимость вязкости силикатных стекол от температуры.— Труды Всес. науч.-исслед. ин-та стекла, вып. 31, 1951.
- Пафтенгольц К. Н. К стратиграфии и тектонике олигоцена и соленосной толщи Армении и южной части Грузии.— Записки Всерос. минерал. об-ва, серия 2, ч. 67, вып. 2, 1938.
- Пафтенгольц К. Н. Геологический очерк Кавказа. Изд-во АН АрмССР, 1959.
- Петров В. П. Новые виды неметаллических полезных ископаемых.— Разведка и охрана недр, № 3, 1955.
- Петров В. П. Игнимбриды и туфовые лавы; еще о природе арктик-туфа.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, вып. 14, 1957.
- Петров В. П. Основы классификации туфовых и вулканогенных пород.— В кн.: Проблемы вулканизма. Изд-во АН АрмССР, 1959.
- Петров В. П. Петрографический облик игнимбридов и туфовых лав и их место среди горных пород, промежуточных между лавами и туфами.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, вып. 20, 1961.
- Петров В. П. Перлит, его особенности и распространение в СССР.— В кн.: Перлит и вермикулит. Госгеолтехиздат, 1962.
- Петров В. П. Пемза и шлак, их практическое значение и генезис.— В кн.: Вулканизм Камчатки и некоторых других районов СССР. Изд-во АН СССР, 1963.
- Петров В. П., Наседкин В. В. Перлит и другие кислые вулканические стекла как горные породы и промышленное сырье.— Труды ИГЕМ АН СССР, вып. 48, 1961.
- Певзнер Р. Л., Полинковская А. И., Чернова О. А. К вопросу о стойкости вспученного перлита к воздействию водной среды (предварительное сообщение).— Сборник трудов Всес. науч.-исслед. ин-та строит. материалов и конструкций, № 1 (29), 1964.

- Пийп Б. П.* Материалы по геологии и петрографии района рек Налычевой, Авача, Рассошины, Гаванки на Камчатке.— В кн.: Труды Камчатской компл. эксп. СОПС АН СССР, вып. 2. Изд-во АН СССР, 1941.
- Пийп Б. И.* О раскаленных аггломератовых потоках Авачи и о типе извержений этого вулкана.— Бюллетень Камчатской вулканол. станции АН СССР, № 12, 1946.
- Пийп Б. И.* Извержение Авачинской сопки в 1965 г.— Бюллетень Вулканол. станции АН СССР, № 17, 1953.
- Пискунов Б. Н.* Шаровые лавы и гиадокластиты острова Уруп (Курильские острова).— Докл. АН СССР, т. 168, № 1, 1966.
- Полинковская А. И., Сергеев Н. И., Чернова О. А., Элинзон М. П.* Основное оборудование для производства вспученного перлитового щебня и песка с применением вращающихся печей.— В кн.: Строительные материалы, детали и конструкции, вып. 6. Киев, 1966.
- Протоdjяконов М. М., Вобликов В. С.* Определение крепости горных пород на образцах неправильной формы.— Уголь, № 4, 1957.
- Радопуло Л. М.* Пемзы и трассы.— В кн.: Геология Армянской ССР. Неметаллические полезные ископаемые, т. 7. Ереван, 1966.
- Ритман А.* Вулканы и их деятельность. Перевод с нем. Изд-во «Мир», 1964.
- Рохваргер А. Е.* Автореф. канд. дисс. М., 1966а.
- Рохваргер А. Е.* О применении метода эталонных сравнений для преобразования параметра выхода активного эксперимента.— В кн.: Планирование эксперимента. Изд-во «Наука», 1966б.
- Руминский Л. Э.* Элементы теории вероятностей. Физматгиз, 1963.
- Саакян В. О.* Вулканические шлаки как строительный материал.— Сборник трудов Арм. науч.-исслед. ин-та строит. материалов и сооружений, вып. 1. Ереван, 1959.
- Саватеев Д. Е.* Авачинское месторождение пемзы.— В кн.: Вопросы географии Дальнего Востока, вып. 4. Хабаровск, 1959.
- Саватеев Д. Е.* Ископаемые строительные материалы Камчатки.— В кн.: Сырьевые ресурсы Камчатской области. М., 1961.
- Сагателян К. М.* Перлиты Армении.— В кн.: Перлит и вермикулит. Госгеолтехиздат, 1962.
- Седакова М. Т.* О физико-технических свойствах перлитобетонов для строительных конструкций.— В кн.: Вопросы применения перлита в строительстве. Ереван, 1964.
- Сидоров А. Н.* Спектральное исследование адсорбции воды на пористом стекле в зависимости от степени гидратации поверхности.— Оптика и спектроскопия, т. 8, вып. 6, 1960.
- Силаева О. И.* Исследования с помощью ультразвука скоростей распространения упругих волн и упругих параметров в образцах горных пород при одностороннем давлении.— Труды Ин-та физики Земли им. О. Ю. Шмидта, № 27, 1962.
- Симонов М. Э.* Бетон и железобетон на пористых заполнителях. Госстройиздат, 1955.
- Сирин Н. А.* Магматизм и его металлогенические особенности на Приполярном и Полярном Урале. Изд-во АН СССР, 1962.
- Скобло В. М.* Новые данные к биостратиграфической характеристике удинской свиты.— Материалы по геологии и полезным ископаемым Бурят. АССР, вып. 10. Улан-Удэ, 1965.
- Скрамтаев Б. Г.* Камчатский вулканический пепел. Петропавловск-Камчатский, Изд-во «Камчатская правда», 1959.
- Славянский В. Т.* Газы в стекле. Оборонгиз, 1957.
- Смит Р. Л.* Потоки вулканического пепла.— В кн.: Проблемы палеовулканизма. ИЛ, 1963.
- Соломин Н. В.* О вязкости керамических материалов при высоких температурах.— Ж. техн. физ., т. 15, вып. 2, 1945.
- Солонинко И. С.* Новые данные о сырьевых ресурсах перлитов Украинской ССР.— В кн.: Производство и применение вспученного перлита. Киев, 1964а.
- Солонинко И. С.* Вулканические стекла Советских Карпат.— Львовский минерал. сборник, вып. 4, № 18, 1964б.
- Солонинко И. С.* Промышленные месторождения перлитов Советского Союза и социалистических стран.— В кн.: Строит. материалы, детали и изделия, вып. 6. Киев, 1966.
- Страхов Н. М.* Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. Госгеолтехиздат, 1964.
- Сухарев М. Ф., Майзель И. Л.* Жароупорный перлитобетон.— Строит. материалы, № 8, 1963.
- Татишвили А. З., Серингюлян В. В., Кикнадзе М. М., Цицишвили В. В.* Физико-технические и теплофизические характеристики бетона на основе вспученных перлитов Параванского месторождения Грузинской ССР.— В кн.: Строительные материалы, детали и изделия, вып. 6. Киев, 1966.
- Фаворская М. А., Волчанская И. К., Фрих-Хар Д. И.* Магматизм Юго-Восточной Камчатки и его связь с процессами тектонической активизации. Изд-во «Наука», 1965.

- Ферштатер Г. Б.* Средне- и верхневизейские вулканические породы окрестностей г. Магнитогорска.— В кн.: Путеводитель Магнитогорско-Сибаявской экскурсии. Второе Уральское петрогр. совещ. Свердловск, 1966.
- Хворова И. В.* О происхождении подушечных брекчий и связанных с ними туфов.— Литология и полезные ископаемые, № 4, 1966.
- Ширинян К. Г.* Химические особенности четвертичных вулканических туфов и туфолав Армении.— Изв. АН АрмССР, серия естеств. наук, т. 9, № 8, 1956.
- Ширинян К. Г.* Вулканические туфы и туфолавы Армении. Ереван, 1961.
- Ширинян К. Г.* Антропоновый вулканизм Армении.— В кн.: Вопросы вулканизма. Изд-во АН СССР, 1962.
- Ширинян К. Г.* Гиалокластиты и условия их образования в Армении.— Труды Лаб. палеовулканологии (Казах. науч.-исслед. ин-т мин. сырья), вып. 2. Алма-Ата, 1963.
- Явиц И. Н.* Об исследовании вязкости и плавкости некоторых вулканических водосодержащих стекол.— Сборник трудов Респ. науч.-исслед. ин-та местных строит. материалов, № 6, Госстройиздат, 1962.
- Явиц И. Н.* Муфельная электропечь (Авт. свид. № 153208).— Бюллетень изобретений, № 4, 1963.
- Явиц И. Н.* Разработка и применение методов для характеристики вязкости и газовой фазы при поризации силикатных масс.— Автореф. канд. дисс. М., 1965.
- Явиц И. Н., Наседкин В. В.* О влиянии некоторых свойств кислых вулканических водосодержащих стекол на качество вспученного перлита.— Сборник трудов Респ. науч.-исслед. ин-та местных строит. материалов, № 25, 1962.
- Anderson T., Flett J. S.* Report on the eruptions on the Soufriere in St. Vincent in 1902 and on a visit to Montagne Pelle in Martinique.— Philos. Trans. Roy. Soc., Ser. A208, 1908.
- Barth T. F.* Volcanic geology, hot springs and geysers of Iceland.— Carnegie Inst. Washington Publ., 587, 1950.
- Box D. P., Hunter W. G.* A useful method for model building.— Technometrics, v. 4, N 3, 1962.
- Dannenberg A.* Beitrage zur Petrographie der Kaukasuslaender.— Tschermaks mineralpetrogr. Mitt., Bd. 19, 23, 1904.
- Fenner C. N.* The Origin and mode of emplacement of the greates tuff deposit in the Valley of Ten Thousand Smokes.— Techn. Paper, Nat. Geogr. Soc. America, Katmai Ser., N 1, 1923.
- Friedman I., Smith R.* Method for determinative authenticity of ancient artificials made of obsidian. (United States of America as represented by the Secretary of the Interior). Patent 3010208, 1961.
- Goranson R. W.* The solubility of water in granitic magmas.— Amer. J. Sci., v. 22, N 5, 1931.
- Haller W.* Kinetics of the transport of water through silicate glasses at ambient temperatures.— Phys. and Chem. Glasses, v. 22, N 2, 1960.
- Hill R. D.* Secondary expansion of perlite concrete and plaster.— Nature, N 4470, p. 29, 1955.
- Hill R. D.* The longterm. expansion of perlite plaster and concrete.— Austral. J. Appl. Sci., N 2, 1958.
- Keller W. D., Pikett E. E.* Hydroxyl and water in perlite from Superior, Arisona.— Amer. J. Sci., v. 252, N 2, 1954.
- Kuno H.* Petrology of Hakone volcano and the adjacent areas Japan.— Bull. Geol. Soc. America, v. 61, N 9, 1950.
- Lacroix A.* La Montagne Pelee et ses eruptions. Paris, Masson et Cie, 1904, p. 662.
- Larson R. K.* Dimensionally stable expanded perlite and method for making. (United States Gypsum Co). USA, Patent 3062752, 1962.
- Leblanc S. C.* Memoire sur la composition des gas rejectes par les events volcaniques de l'Italie meridionale.— Ann. Chim. Phys., ser. 3, v. 52, p. 45., 1958.
- Leyden R.* Von Staukuppen und verwandten Bildungen, ein Beitrag zur vulkanologischen Systematik auf genetischer Grundlage.— Zs. Vulcanol., Bd. 16, N 4, 1936.
- Milligan O. W., Weiser H. B.* The mechanism of the dehydration of zeolites.— J. Phys. Chem., v. 41, 1937.
- Milos S., Volf B.* Voda jako sklarska surovina.— Sklar a keramik, N 8, 1963.
- Morey G.* Neue Kristallisierte Silikate von Kalium und Natrium. Darstellung und allgemeine Eigenschaften.— Zs. anorgan. und alg. Chem., Bd. 86, N 2, 1914.
- Pelto C. R.* Study of chalcedony.— Amer. J. Sci., v. 254, N 1, 1956.
- Roy D. M., Fail S. P., Tuttle O. F.* Effect of large concentrations of dissolved gas on properties of glasses.— Phys. and Chem. Glasses, N 6, 1964.
- Rittmann A.* Determination of serial index of volcanic rocks.— Bull. Vulcanol., ser. 2, v. 19, 1958.
- Ross C., Smith R.* Water and other volatiles in volcanic glasses.— Amer. Mineralogist, v. 40, N 11/12, 1955.
- Salat J., Ončakova P.* Perlity ich výskyt, Petrochemia a Prakticke Pouzitie. Bratislava, Vydav. Slowenskiej Akad. Vied., 1964.
- Schoize H.* Water in the glass structure.— Glass Industry, v. 40, N 6, 1959.

- Shepherd E. S.* The Gases in rocks and some related problems.—*Amer. J. Sci.*, 35 A, 1938.
- Steiner A.* Hydrothermal rock alteration at Wairakei, New Zealand.—*Econ. Geol.*, v. 48, N 1, 1953.
- Tiselius A.* Stechimetrie und Verwandtschaftslehre.—*Zs. phys. Chem.*, 169A, 1932.
- Washington H. S.* Petrology of the Hawaiian Islands. 2. Hualalai and Mauna Loa.—*Amer. J. Sci.*, v. 14, N 6, 1923.
- Wiegel O., Steinhof E.* *Zs. Kristallogr.*, Bd. 61, 1925.
- Wilfley E. D., Taylor C. W.* Perlite mining and processing a new industry for the west.—*Engng and Mining J.*, v. 151, N 6, 1950.
- Williams H.* The history and character of volcanic domes.—*Univ. Calif. Publ., Dept. Geol. Sci.*, v. 21, N 5, 1932.
- Williams H.* The Geology of Crater Lake National Park, Oregon with a reconnaissance of the Cascade Range southward to Mount Shasts.—*Carnegie Inst. Washington Publ.*, 540, 162, 1942.

## СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие . . . . .	5
Часть первая.	
<b>Закономерности образования и локализации месторождений стеклообразных пород и связь их с этапами вулканизма</b>	
В. П. Петров. Закономерности формирования и размещения вулканических стекол и близких к ним пород на территории СССР и за рубежом . . . . .	7
В. В. Наседкин. Характеристика зональности на месторождениях кислых стеклообразных пород и физико-химические факторы, определяющие условия образования этих месторождений . . . . .	14
Е. Ф. Малеев. Типы месторождений кислых вулканических стекол и приуроченность их к этапам вулканизма . . . . .	20
К. Г. Ширинян. Закономерности образования лемзовых месторождений Армении и характеристика их генетических типов . . . . .	26
Часть вторая.	
<b>Месторождения вулканических стекол; методика их разведки и опробования</b>	
М. Б. Григорович. Геологическая изученность месторождений вспучивающихся вулканических стекол и дальнейшие задачи геологической службы . . . . .	34
С. Г. Каралетян. Геологические условия формирования промышленных месторождений кислых вулканических стекол Армянской ССР . . . . .	38
Н. Т. Блоха. Геология и генетические особенности проявлений вулканических стекол Хабаровского края . . . . .	46
<u>Д. Е. Саватеев.</u> Пемзы, вулканические стекла и шлаки Камчатки . . . . .	50
С. Е. Апрельков, Ю. И. Харченко, В. С. Шеймович. Перлиты гор Бархатная и Купол на Камчатке . . . . .	56
И. С. Солонинко. Вулканические водосодержащие стекла северо-западной части Выгорлат-Гутинской вулканической гряды Закарпатья . . . . .	59
Ф. И. Ковальский, С. В. Костромин, Л. Н. Костромин. Геологическое строение и условия формирования месторождений вулканических стекол Забайкалья . . . . .	62
Р. А. Крылов. Геология и генетические особенности проявлений вулканических стекол Урала . . . . .	68
К. М. Сагателян. Геолого-петрографические и промышленные особенности перлитов, обсидианов и липаритов Арагацского месторождения . . . . .	73
В. П. Еремеев, А. А. Крупа, В. В. Наседкин. Перлиты Центральной Монголии . . . . .	80
В. А. Гуцалюк. Особенности локализации вулканических стекол Семейтауского и Тургайского месторождений . . . . .	88
Ф. И. Ковальский, С. В. Костромин. Особенности методики поисков и разведки месторождений перлита . . . . .	91
В. И. Лебединский. Проявления вулканического стекла в Горном Крыму . . . . .	95
М. Д. Ованесян, В. О. Саакян. Генетические особенности месторождений вулканических шлаков Армении, методика их разведки, опробования и перспективы применения . . . . .	99
Е. Ф. Малеев, Б. А. Зиман, А. В. Куркин. Краткая геологическая и технологическая характеристика Начикинского месторождения перлита . . . . .	106
В. П. Еремеев. Вулканические шлаки Центральной Монголии . . . . .	109

**Свойства вулканических стекол, методы их исследования, технология производства и применение**

<u>П. П. Будников.</u> Основы производства вспученного перлита . . . . .	115
М. А. Кашкай, А. И. Мамедов. Исследование летучей фазы в вулканических стеклах . . . . .	119
В. В. Наседкин, Т. А. Зиборова, О. Н. Короткова, Е. А. Санина, Ю. С. Геншафт. Исследование строения и физических свойств стеклообразных пород . . . . .	122
А. В. Жуков, С. П. Каменецкий. Применение перлита в промышленности и строительстве . . . . .	133
А. И. Полинковская, О. А. Чернова. Физические, химические и технологические свойства вулканических стекол месторождений РСФСР и методика их исследования . . . . .	140
А. Е. Рохваргер. Определение энергии активации процесса поризации некоторых разновидностей перлитов . . . . .	146
А. Е. Рохваргер, Б. Н. Виноградов. О равновесном содержании воды в вулканическом стекле . . . . .	154
А. А. Варужаян. Исследование вязкости кислых вулканических водосодержащих стекол в интервале температур размягчения под давлением водяных паров . . . . .	160
А. Т. Микаелян. О физико-механических свойствах вулканических шлаков . . . . .	170
И. Н. Явид. О некоторых исследованиях в области физико-химии вулканических водосодержащих стекол . . . . .	176
Г. Г. Акопян. Механизм изменения свойств перлита в зависимости от режима термообработки . . . . .	177
— Н. М. Тимофеева. Влияние предварительной термической обработки на вспучиваемость некоторых разновидностей перлитовых пород . . . . .	181
✓ С. Г. Карапетян, В. Р. Израелян, Г. Г. Акопян. Влияние генезиса кислых вулканических стекол на их структуру и технологические свойства . . . . .	184
А. А. Крупа, В. В. Наседкин. Влияние текстурных особенностей и вещественного состава перлитов Элиген-Булакского месторождения МНР на их вспучиваемость . . . . .	192
Н. И. Молокова. Особенности технологии вспучивания вулканических пород месторождений Ташкескен и Кок-Тепе в Средней Азии . . . . .	199
М. Т. Седакова, Ф. И. Ковальский, Н. И. Сергеев, К. А. Сергеева. Технологические свойства витрокластических туфов Мухор-Талы и производство пористых заполнителей и бетонов на их основе . . . . .	205
В. В. Варгин, И. Н. Ящишин. Рекристаллизация перлитов и липаритов Закарпатья . . . . .	210
И. С. Солонинко, Н. Г. Литвинчук. О некоторых направлениях использования липаритов и туфов Закарпатья и других районов СССР . . . . .	214
Г. И. Еворенко. Баротермальный способ вспучивания перлита . . . . .	218
Н. Я. Спивак, М. Т. Седакова. Применение вулканических стекол и близких к ним горных пород в индустриальном строительстве . . . . .	222
М. Л. Оганесян. Стеклообразные породы Армении и направления их комплексного использования . . . . .	232
А. Н. Цибрик. Перлито-вермикулитовые смеси, покрытия и засыпки для отливок и слитков из цветных и черных металлов . . . . .	234
Б. Н. Виноградов. О взаимодействии перлитового заполнителя с глиноземистым цементом при твердении и термической обработке жароупорного бетона . . . . .	237
Б. Н. Виноградов, В. Н. Тарасова. Гидравлическая активность вулканических стекол и ее влияние на деформативные свойства бетона . . . . .	243
С. М. Каган. Влияние вспученного перлитового песка на процесс твердения и долговечность цементного раствора и бетона . . . . .	248
Ю. В. Лабзина. Исследование технологии изготовления перлито-керамических изделий способом вибровоздуховлечения . . . . .	251
Я. А. Рекитар, К. А. Сергеева. Вопросы технико-экономической оценки применения перлитов в строительстве . . . . .	255

УДК 553.6.531.535

**Закономерности формирования и размещения вулканических стекол и близких к ним пород на территории СССР и за рубежом.** Петров В. П. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Стекловатые породы основного состава представлены шлаками, кислого состава — пемзами, перлитами, обсидианами. Наиболее крупные месторождения обсидианов и перлитов связаны с лавовыми излияниями. Верхние периферические зоны лавовых потоков могут быть сложены пемзовидными разновидностями. Стекло кислого состава также характерно для зоны закалики экструзивных куполов. Наиболее крупные месторождения шлаков и пемз образуются в процессе вулканической эксплозивной деятельности. Неизмененные стекла пространственно связаны главным образом с областями молодого кайнозойского вулканизма. Первая стадия поверхностного изменения стекла — гидратация, вторая — монтмориллонитизация. В процессе метаморфизма кислые стекла превращаются в фельзитовый агрегат. Таблиц 1.

УДК 553.6.531.535

**Характеристика зональности на месторождениях кислых стеклообразных пород и физико-химические факторы, определяющие условия их образования.** Наседкин В. В. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Экструзивные купола и эффузивные потоки обычно имеют зональное строение. Стекло слагает верхнюю и нижнюю зоны закалики. Центральные части тел состоят из крипто-кристаллического липарита. Между липаритом и стеклом расположена зона сферолитовой кристаллизации. В верхних частях верхней зоны закалики обычно наблюдается пемзовидное стекло, образующееся при частичном вспучивании стеклоподобного расплава. Образование зональности связано с протеканием термодинамически неравновесного процесса. Библ. 5 назв. Илл. 5.

УДК 553.6.531.535

**Типы месторождений кислых вулканических стекол и приуроченность их к этапам вулканизма.** Малеев Е. Ф. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Вулканические стекла: обсидиан, перлит, пехштейн отличаются друг от друга содержанием воды и связаны постепенными переходами. Наиболее значительные по масштабу месторождения кислых стекол формируются в орогенную стадию развития геосинклинали. При этом проявляется два типа кислого вулканизма: региональный, связанный с кислой магмой земной коры, и локальный, обусловленный проявлением основной подкоревой магмы, производящей небольшое количество кислых дифференциатов. Вулканические стекла слагают отдельные зоны куполов, потоков, штоков и даек. Иногда образуются сложные месторождения, в которых куполы переходят в лавовые потоки. Табл. 1. Библ. 4 назв. Илл. 2.

УДК 553.6.531.535

**Закономерности образования пемзовых месторождений Армении и характеристика их генетических типов.** Ширинян К. Г. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Месторождения пемз генетически связаны с процессами кислого вулканизма, который наиболее интенсивно проявляется в позднеорогенную стадию вулканической активности. Средний состав большинства пемз Армении дацитовый. Месторождения представлены тремя генетическими типами: эксплозивными, агломератового потока и поструптивного преобразования лавового потока. Наиболее высококачественными промышленными свойствами обладают пемзы эксплозивного генезиса. Табл. 1. Библ. 6 назв. Илл. 2.

УДК 553.6.531.535

**Геологическая изученность месторождений вспучивающихся вулканических стекол и дальнейшие задачи геологической службы.** Григорович М. Б. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Наилучшей вспучиваемостью (коэффициент вспучивания 7—16) обладают перлиты, генетически связанные с проявлениями кайнозойского вулканизма. Мезозойские перлиты характеризуются более низким коэффициентом вспучивания (5—6), а палеозойские еще более низким (2—6). К 1 января 1966 г. число изученных месторождений достигло 16 с суммарными  $(A+B+C_1) = 204,1$  млн. м<sup>3</sup>. Наибольшее количество перлита (77% всех запасов) и почти вся добыча (96%) сосредоточены в Закавказье. Особенно богата вулканическими стеклами Армения, где имеются четыре разведанных месторождения — Арагацское, Джраберское, Фонтанское и Джрабер-Фонтанское с общими запасами, превышающими 90 млн. м<sup>3</sup>. Важное промышленное значение имеют месторождения Украины (Ардов, Пеликан) и Восточной Сибири (Мухор-Тала). Весьма перспективными на перлит следует считать Магаданскую область, Камчатку и Дальний Восток. Табл. 1.



УДК 553.6.553.531.479.25

**Геологические условия формирования промышленных месторождений кислых вулканических стекол Армянской ССР.** Карапетян С. Г. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

В пределах Армянской ССР выделяются четыре вулcano-структурные зоны интенсивного проявления кислого вулканизма (с запада на восток): Арагацкая, Гегамская, Варденисская, Сюникская. Возраст проявлений верхнеплиоценовый. Месторождения перлитов подразделяются на три промышленно-генетические типа: эффузивный, экструзивный и эксплозивный. Для эффузивного характерны агломератные потоки (месторождения Арteni, Гутанасар), для экструзивного — купола (обсидановый купол южнее вершины Арteni), эксплозивного — слоистые накопления пирокластов. Наиболее важны с промышленной точки зрения месторождения эффузивного типа. Табл. 1. Библ. 28 назв. Илл. 4.

УДК 553.6.553.535.571.62

**Геология и генетические особенности проявлений вулканических стекол Хабаровского края.** Блоха Н. Т. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Перлитовые тела локализируются среди вулканогенных образований Олонойской серии Малого Хингана (меловой возраст). К наиболее крупным относятся Кимканское и Радденское месторождения. Вулканические тела имеют строение экструзивных куполов. Изученные перлиты Хабаровского края представлены плохо вспучивающимися образованиями. Коэффициент вспучивания 2—5. Температура вспучивания 1250—1300°С. Илл. 2.

УДК 553.6.531.535.571.66

**Пемзы, вулканические стекла и шлаки Камчатки.** Саватеев Д. Е. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Пемзы распространены в средней и особенно южной частях полуострова Камчатки. Запасы отдельных месторождений измеряются обычно десятками млн. м<sup>3</sup>, а в Озерно-Гольинской группе месторождений превышают 20 млрд. м<sup>3</sup>. Вулканические стекла известны более чем в 30 пунктах Камчатской области. Подавляющее их большинство связано с кислыми эффузивами и экструзивами плиоценового или четвертичного возраста (Начикинское, Купол и др.). Вулканические шлаки приурочены к срединному и восточному поясам четвертичного вулканизма. Выделяются два типа месторождений: шлаковые конуса (Ходутка, район р. Паратунки) и поля пирокластических накоплений (Авачинское). Табл. 1. Библ. 4 назв. Илл. 3.

УДК 553.6.531.571.66

**Перлиты гор Бархатная и Купол на Камчатке.** Априлков С. Е., Шеймович В. С., Харченко Ю. И. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Большая группа миоценовых экструзивов липаритов сосредоточена в пределах Южно-Быстринского хребта (горы Бархатная, Бабий Камень, Горячая и др.) и на Тихоокеанском побережье. В геологическом разрезе горы Бархатной наблюдаются следующие породы (снизу вверх): туфы (15—20 м), туфолавы (30—50 м), липариты (350—400 м) и обсидианы (50—70 м). Встречаются также перлиты. На месторождении Купол локализируются два экструзива. Верхняя периферия сложена пемзвидным стекловатым липаритом. Ниже пемзвидных пород залегают перлиты. Мощность зоны около 30 м. Геологические запасы перлитов гор Бархатной и Купол, по-видимому, значительны. Табл. 2. Библ. 5 назв.

УДК 553.6.531.535.477.87

**Вулканические стекла северо-западной части Выгорлат-Гутинской вулканической гряды.** Соловьишко И. С. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Месторождения водосодержащих стекол локализируются в юго-восточной части хр. Великий Шоллес и в междуречье Ужа и Латорици. Высококачественные перлиты выявлены в районе с. Счастливого. Мощность перлита 6—15 м. Стекловатые породы залегают на агломератном туфе. Из перлитов месторождения Счастливого получается вспученный материал с объемным весом 60—120 кг/м<sup>3</sup>. Табл. 2. Библ. 4 назв.

УДК 553.6.531.535.571.54

**Геологическое строение и условия формирования месторождений вулканических стекол Забайкалья.** Ковальский Ф. И., Костромин С. В., Костромина Л. Н. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Кислые вулканические стекла локализируются в пределах двух свит — ичетуйской и удинской ниже-среднеюрского и средне-верхнеюрского возраста соответственно. Наиболее значительна по запасам Мухор-Талинская группа месторождений. В плане перлиты образуют сплошную стекловатую оторочку вокруг липаритовых тел, отходящих от предполагаемого центра растекшегося купола. Мощность перлитов 30—35 м. Вулканические стекла месторождений Мухор-Шибирской группы образуют краевые зоны даек и небольших куполов. Перлиты сильно изменены. Месторождения перлитов известны также на левобережье р. Уды (Холинское), в бассейне р. Хилок (Закультинское) и в ряде других мест. Прогнозные запасы перлитов Забайкалья на данной стадии изученности составляют 40—50 млн. м<sup>3</sup>. Таблиц 1. Библ. 3 назв.

УДК 553.6.531.535.574.11

**Геология и генетические особенности проявлений вулканических стекол Урала.** К о б л о в Р. А. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Проявления вулканических стекол встречаются на всем протяжении Тагило-Магнитогорского прогиба от р. Северной Сосьвы до Мугоджар (дайка, пластообразные тела). Отдельные проявления выявлены и за пределами эвгеосинклинального прогиба, в частности, в Мугоджарах (на продолжении Восточно-Уральского поднятия) и на западном склоне Среднего Урала. Большие перспективы для выявления залежей вулканических стекол открылись с началом интенсивного изучения Зауралья, где в субплатформенных структурах широко развиты кайнозойские эффузивы нижнего мезозоя. Таблиц 1. Библ. 6 назв. Иллюстраций 1.

УДК 553.6.535.479.25

**Геолого-петрографические и промышленные особенности перлитов, обсидианов и липаритов Арагацкого месторождения.** Саг а т е л я н К. М. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Для Арагацкого месторождения характерны главным образом вулканические стекла эффузивного генезиса. Наиболее крупный поток (около 20 км<sup>2</sup>) отходит в западном направлении. Мощность перлита около 100 м. Кроме того, распространены обсидианы, стекла обсидианово-перлитового типа и липариты. Для кислых эффузивов этого месторождения характерно почти полное отсутствие вкрапленников. В тектурном отношении породы подразделяются на массивные, полосчатые, пузыристые и брекчиевидные. Таблиц 2. Библ. 5 назв. Иллюстраций 5.

УДК 553.6.535.517.3

**Перлиты Центральной Монголии.** Е р е м е е в В. П., К р у п а А. А., Н а с е д к и н В. В. В сб.: «Закономерности формирования и размещения вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

На территории МНР известно более десяти месторождений и проявлений перлита. Наиболее крупные из них: Элиген-Булакское, Баян-Улское, Цаган-Обоо, Цахиур-Ула и др. Элиген-Булакское имеет морфологию купола, прорывающего мощную толщу витрокластических образований. Для производства вслученного перлита могут использоваться как массивные стекла, так и их витрокластические разновидности. Все описываемые разновидности перлитов связаны с мезо-кайнозойским проявлением вулканизма. Гидротермальные вторичные изменения стекол выражаются в аргиллизации и цеолитизации. Таблиц 5. Библ. 3 назв. Иллюстраций 4.

УДК 553.6.535.574.4

**Особенности локализации вулканических стекол Семейтауского и Тургайского месторождений.** Г у ц а л о в В. А. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Месторождения Центрального Казахстана представлены дайками и пластообразными телами. К наиболее крупным относятся Семейтауское и Тургайское месторождения; средняя мощность перлитов Семейтауского составляет 5–6 м, Тургайского — 10–12 м. Для обоих месторождений характерна пространственная связь стекол с флюидальными липаритами и приуроченность их к основанию зональных тел. Библ. 6 назв.

УДК 553.6.535.550.8

**Особенности методики поисков и разведки месторождений перлита.** К о в а л ь с к и й Ф. И., К о с т р о м и н С. В. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Поверхность месторождения изучается путем проходки магистральных канав через 50, 100 и 200–400 м друг от друга, соответственно для оконтуривания запасов по категориям В, С<sub>1</sub> и С<sub>2</sub>. Шурфы целесообразно проходить в стадию поисков и при поисково-разведочных работах. На глубину залежи перлитов разведуются вертикальными скважинами колонкового бурения. Предложен аналитический метод для определения объемного веса смеси, содержащей невспучивающиеся частицы.

УДК 553.6.531.535.477.9

**Проявления вулканического стекла в Горном Крыму.** Л е б е д и н с к и й В. И. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

В Горном Крыму, на Карадаге, известны три формы залегания стекловатых пород: обособленные скопления среди трассов Святой горы, кровлевые части потоков лав среднего состава и гиаюкластиты. Перлит Святой горы хорошо вспучивается, но из-за малых масштабов проявление промышленного значения не имеет. Стекловатые породы других типов имеют базальтовый состав. Таблиц 2. Библ. 4 назв. Иллюстраций 2.

УДК 553.6.531.479.25

**Генетические особенности месторождений вулканических шлаков Армении, методика их разведки, опробование и перспективы применения.** Ованесян М. Д., Саакян В. О. В сб. «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Шлаковые конусы локализуются в районах проявления четвертичного вулканизма: Арагацком, Гегамском, Вардениском и Зангезурском. В зависимости от морфологии и строения выделяется 6 типов шлаковых конусов. Общие запасы шлаков Армянской ССР составляют 116,4 млн. м<sup>3</sup>. При разведке месторождений целесообразно применять разряженную сеть разведочных выработок: для категории А до 200—300 м, В 300—400 м и С 400—800 м. Таблиц 2. Библ. 3 назв. Иллюстраций 5.

УДК 553.6.535.571.66

**Краткая геологическая и технологическая характеристика Начикинского месторождения перлита.** Малеев Е. Ф., Зиман Б. А., Куркин А. В. В сб. «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Начикинское месторождение находится в 60 км к западу от г. Петропавловска. Липариты слагают купол, к востоку от которого отходит лавовый поток. В разрезе поток имеет следующее строение (снизу вверх): перлит, обсидиано-перлитовая порода, обсидиан, полустекловатая порода, липарит. Мощность перлита 18 м, вспучивается перлит при 900—950°. Из него может быть получен несок (фракция 0,5—1,5 мм) и щебень. Запасы перлита рассматриваемого месторождения значительные. Таблиц 2. Иллюстраций 1.

УДК 553.6.531.517.3

**Вулканические шлаки Центральной Монголии.** Еремеев В. П. В сб. «Закономерности формирования и размещения вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Месторождения шлаков распространены в Дараганском и Хангайском районах. Вулкан Уран-Тогоо находится к северу от аймачного центра Булган. Он сложен пухрыстыми шлаками базальтового состава. Объемный вес шлаков 0,81—1,43, истинная пористость 50—72%, временное сопротивление сжатию 27—133 кг/см<sup>2</sup>. Таблиц 2. Библ. 3 назв. Иллюстраций 3.

УДК 552.125

**Основы производства вспученного перлита.** Будников П. П. В сб. «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Качество вспученного перлита зависит от содержания в исходной породе воды и кристаллических примесей. Для стекол, содержащих более 3,5% воды, следует рекомендовать проведение предварительной термодготовки. Установлено, что в стекле присутствуют группы OH- и H<sub>2</sub>O. Группа OH-, по-видимому, занимает место на поверхности алюмосиликатного каркаса, а молекулы H<sub>2</sub>O локализуются в полостях субмикроскопического размера. Вода является не только газообразователем, но и влияет на реологические свойства стекол.

УДК 553.6.535.217.5

**Исследование летучей фазы в вулканических стеклах.** Кашкай М. А., Мамедов А. И. В сб. «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

В водосодержащих вулканических стеклах выделены следующие типы воды: обсидиановая (до 0,3%), обсидиан-перлитовая (1—2%), перлитовая (2—6%), пехштейновая (6—8%). На термограммах (кривые ДТА) отчетливо фиксируются два эндотермических эффекта. Низкотемпературный связан с выделением перлитовой воды, высокотемпературный — обсидиановой. Кроме воды в стеклах присутствуют газы, главным образом азот и водород. Вспучивание перлитов и обсидианов протекает при обжиге в интервале 800—1000°С. Оно связано с выделением обсидиановой воды. Библ. 10 назв. Иллюстраций 5.

УДК 553.6.535.552.125

**Исследование строения и физических свойств стеклообразных пород.** Наседкин В. В., Зиборова Т. А., Короткова О. Н., Саница Е. А., Генштафт Ю. С. В сб. «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Рентгеновским методом выявлена зависимость степени упорядоченности структуры стекла от  $P-T$  условий его образования. Стеклообразное вещество при высоких температурах (1300°) характеризуется неупорядоченностью структуры и на рентгенограмме проявляется как аморфное тело. В результате применения электронномикроскопического и ультразвукового методов установлено, что стекло, присутствующее в горных породах, может обладать структурной анизотропией. Это позволяет сделать вывод о полостчатом строении расплава при формировании вулканических тел. Пониженные скорости распространения упругих волн в направлении течения расплава свидетельствуют о влиянии растягивающих усилий. Особенности вхождения воды в расплав также зависят от  $P-T$ , от условий его существования. В отличие от стекол, образовавшихся при высоких давлениях и температурах, природные перлиты содержат главным образом низкотемпературную воду. Возрастание давления приводит к количественному увеличению в расплаве прочно связанного гидроксила. Таблиц 5. Библ. 3 назв. Иллюстраций 5.

УДК 553.6.66.043.2.666.972

**Применение перлита в промышленности и строительстве.** Жуков А. В., Каменецкий С. П. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Вспученный перлит применяется главным образом в качестве теплоизолятора и легкого строительного материала. Высокими теплоизоляционными свойствами обладают следующие материалы и изделия: перлитовый песок, щебень, перлитовая пудра, гипсоперлитовые, силикат-перлитовые, карбо-перлитовые, магнезито-перлитовые изделия и т. д. Вспученный перлит является единственным материалом, который может быть использован для тепловой изоляции в диапазоне температур от минус 200 до +1250—1300° С. В крупнопанельном строительстве наиболее экономичными и простыми в изготовлении являются однослойные ограждающие конструкции из легкого конструктивно-теплоизоляционного бетона. Для их изготовления используют керамзит и перлитовый щебень. Таблиц 2.

УДК 553.6.552.125

**Физические, химические и технологические свойства вулканических стекол месторождений РСФСР и методика их исследования.** Полинковская А. И., Чернова О. А. В сб.: «Закономерности формирования и размещения вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Способность перлитов к вспучиванию зависит от содержания воды и реологических свойств стекла. Содержание вкрапленников до 15—25% отрицательно сказывается на процессе пемзообразования. Для вспучивания древних многоводных перлитов (Мухор-Тала) необходима предварительная термоподготовка. Для месторождений РСФСР оптимальная температура вспучивания 1100—1150°. Среди промышленных установок для вспучивания перлита экономически наиболее выгодны агрегаты с производительностью до 50—100 тыс. м<sup>3</sup> в год. Установлена возможность применения печи с кипящим слоем. Таблиц 1. Библ. 1 назв. Иллюстраций 5.

УДК 553.6.666.189.2

**Определение энергии активации процесса поризации некоторых разновидностей перлитов.** Рохваргер А. Е. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Зависимость константы скорости процесса поризации от температуры вычислялась по формуле Аррениуса. Кажущиеся энергии активации перлитов основных эксплуатируемых месторождений СССР (Арагацкого, Береговского и Мухор-Талинского) равны соответственно (ккал/г моль) 13,15; 8,42 и 5,82 при величине  $K_0$  1,610; 0,200; 0,131. На основании математического анализа установлено, что оптимальная температура термической подготовки перлита Мухор-Талы равна 325° С, а температуры обжига, соответствующие началу и концу процесса поризации 633 и 1515° С. Процесс термической поризации перлитов описывается кинетическим уравнением первого порядка. В основу расчетов положен объемный вес вспученного перлита. Таблиц 5. Библ. 10 назв. Иллюстраций 2.

УДК 553.6.666.189.2

**О равновесном содержании воды в вулканическом стекле.** Рохваргер А. Е., Виноградов Б. Н. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Вспученный перлит Мухор-Талинского месторождения подвергался гидратации в автоклаве. Исследовалось влияние количества воды на показатель преломления стекла, а также зависимость между содержанием воды и  $P-T$  условиями опыта. Установлено, что максимальное количество воды, которое может быть поглощено перлитом, равно 3,3%. Этот максимум может быть достигнут при давлении пара 20 атм и выдержке 11,6 час. Наибольшее значение показателя преломления, соответственно, составляет 1,4997. Таблиц 1. Библ. 16 назв. Иллюстраций 2.

УДК 553.6.539.55

**Исследование вязкости кислых вулканических водосодержащих стекол в интервале температур размягчения под давлением водяных паров.** Варужанян А. А. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Разработана новая методика исследования кажущейся вязкости вулканических стекол в среде водяного пара при повышенных давлениях. Установлено, что вязкость перлита в среде воздуха больше вязкости обсидианов. С повышением давления водяных паров значения вязкости перлита, примерно, на два порядка становятся меньше вязкости обсидиана. Выведено эмпирическое уравнение зависимости вязкости перлита от давления водяных паров. Эта зависимость имеет экспоненциальный характер. При давлении выше 3—5 ат влияние давления на вязкость уменьшается. Таблиц 4. Библ. 11 назв. Иллюстраций 6.

**О физико-механических свойствах вулканических шлаков.** Микаелян А. Т. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Петрографически шлаки Армении подразделяются на базальтовые, андезито-базальтовые и андезитовые. Для них характерны следующие текстуры: пористая (мелко-, средне- и крупно-) и волокнистая. С увеличением кислотности породы возрастают объемные веса и увеличивается крупность обломков. Тонкообломочные фракции характерны для базальтовых шлаков. С возрастанием пористости величина водопоглощения уменьшается. Прочность вулканических шлаков при сжатии 6—4—1,6 кг/см<sup>2</sup>. Наиболее низкой прочностью обладают шлаки волокнистой текстуры, наиболее высокой — мелкопористой. Аналогичным образом изменяется прочность от базальта к андезиту. Таким образом, бетоны на основе базальтовых шлаков характеризуются большим объемным весом и высокой прочностью. Таблиц 4. Библ. 2 назв. Иллюстраций 3.

УДК 553.6.539.55

**О некоторых исследованиях в области физико-химии вулканических водосодержащих стекол.** Явиц И. Н. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Определение вязкости перлитов и обсидианов производилось методом закручивания цилиндрического образца. В конструкцию прибора были внесены изменения. Криптоловая печь была заменена электрической печью нагрева. В температурном интервале вспучивания вязкость перлитов и обсидианов варьировала от  $10^{10}$  до  $10^8$  пуаз.

УДК 553.6.666.189.2

**Механизм изменения свойств перлита в зависимости от режима термообработки.** Акопян Г. Г. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Перлиты, вспученные при разных режимах термообработки, могут иметь практически одинаковый объемный вес, но совершенно разные физико-технические свойства (водопоглощение, прочность и т. д.). Поэтому, при выборе режимов термообработки для получения продукции с заданными свойствами нельзя исходить только из объемного веса, необходимо учитывать и другие особенности материала. Увеличение объемного веса вспученного перлита может происходить как за счет недовспучивания исходного материала, так и в результате оплавления поверхности зерен и уменьшения их объема. Библ. 5 назв. Иллюстраций 2

УДК 553.6.666.189.2

**Влияние предварительной термической обработки на вспучиваемость некоторых разновидностей перлитовых пород.** Тимофеева Н. М. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Два образца перлитовой породы характеризуются одинаковым составом. Содержание воды в стеклах 4,3—4,4%. Для вспучивания одного образца необходима предварительная термодготовка, второй — вспучивается без нее. Особенности дегидратации изученных образцов идентичны. По-видимому, при предварительной термодготовке (400° С) происходит не только выделение избыточного количества воды, но и соответствующие изменения в тонкой структуре стекла. Таблиц 1. Библ. 2 назв. Иллюстраций 3.

УДК 553.6.535.666.189.2

**Влияние генезиса кислых вулканических стекол на их структуру и технологические свойства.** Карапетян С. Г., Израелян В. Р., Акопян Г. Г. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

На основании генетических особенностей выделяются следующие разновидности перлита: перлит агломератового потока, разновидности, связанные с эффузиями; экструзивные и эксплозивные породы. Наиболее высокой вспучиваемостью обладают перлиты эффузивного, эффузивно-эксплозивного и эксплозивного происхождения. Образование многоводных экструзивных стекол Артепи произошло под влиянием гидротермального воздействия на первичные стекла. Пемзвидные разновидности, как правило, обладают меньшей прочностью и более высоким водопоглощением. Таблиц 2. Библ. 2 назв. Иллюстраций 5.

УДК 553.6.535.666.189.2

**Влияние текстурных особенностей и вещественного состава перлитов Элиген-Булакского месторождения МНР на их вспучиваемость.** Крупа А. А., Наседкин В. В. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Среди перлитов Элиген-Булакского месторождения (Центральная Монголия) встречаются три петрографические разновидности: витрокластическая, сферолитовая и витрофириная. Витрокластический туф монтмориллонитизирован и неолитизирован. Установлено, что монтмориллонитизация стекла отрицательно сказывается на его вспучиваемости. Цеситы вспучиваются в процессе обжига и поэтому не оказывают существенного влияния на технологические свойства сырья. Таблиц 3. Библ. 1 назв. Иллюстраций 3.

**Особенности технологии вспучивания вулканических пород месторождения Ташкескен и Кок-Тепе в Средней Азии.** Молокова Н. И. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

В Средней Азии известно два месторождения вспучивающихся разновидностей водосодержащих вулканических стекол: Ташкескен и Кок-Тепе. Для эффективного вспучивания этих пород необходимо проведение предварительной термодготовки при 450—600°С в течение 20—30 мин. Вспучивание протекает при 1300—1380°С за 15—20 сек. Количество остаточной воды, необходимой для вспучивания, составляет десятые доли процента. Коэффициент вспучивания 4—6. Таблиц 3. Библ. 2 назв. Иллюстраций 5.

УДК 553.6.693.4.

**Технологические свойства витрокластических туфов Мухор-Талы и производство пористых заполнителей и бетонов на их основе.** Седакова М. Т., Ковальский Ф. И., Сергеев Н. И., Сергеева К. А. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Гидротермально измененные витрокластические породы (туфы, брекчии) образуют нижние горизонты разреза стекловатых пород Мухор-Талы. Изменение выражается в монтмориллонитизации и цеолитизации. Предварительная термодготовка монтмориллонитизированных разностей должна проводиться при относительно низкой температуре и длительной выдержке, а вспучивание при более высокой (1200°) температуре по сравнению с обычным перлитом. Вспученный щебень имеет прочность на сжатие 11—12 кг/см<sup>2</sup>. На основе вышеуказанного заполнителя разработана технология получения бетона марки 75—200 с объемным весом 1100—1300 кг/см<sup>3</sup>. Таблиц 2. Библ. 1 назв. Иллюстраций 1.

УДК 553.6.542.65

**Рекристаллизация перлитов и липаритов Закарпатья.** Варгин В. В., Яцишин И. Н. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Для изготовления ситал применялся липарит или перлит. В качестве флюса добавлялись сульфат натрия и доломит. Нуклеаторами гетерогенной кристаллизации являлись  $\text{Sr}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{NiO}$  и другие окислы металлов. Установлено оптимальное содержание окиси хрома в стекле 1,0—1,5%. Объемная кристаллизация стекол, синтезированных на основе перлита и липарита, может быть достигнута и в результате частичной замены щелочно-земельных окислов окислами железа. С целью получения стеклокристаллических материалов с мелкозернистой структурой синтезированные стекла подвергались двухстадийной тепловой обработке. Таблиц 3. Иллюстраций 3.

УДК 553.6.535

**О некоторых направлениях использования липаритов и туфов Закарпатья и других районов СССР.** Солонинко И. С., Литвинчук Н. Г. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Липариты месторождения Пеликан пригодны для производства темной стеклотары и низковольтных изоляторов. Из кислых эффузивов Закарпатья, Западного Забайкалья и Киргизии в лабораторных условиях были получены глухие глазури, ситалы и длинноволокнистая стекловата. Липариты могут использоваться как отощитель керамических масс и заменитель шамота в огнеупорных материалах. Из туфов и липаритов Закарпатья путем агломерации получен легкий заполнитель с объемнонасыпным весом 550—700 кг/м<sup>3</sup>. Таблиц 2.

УДК 553.6.666.189.2

**Баротермальный способ вспучивания перлита.** Еворенко Г. И. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

При вспучивании баротермальным способом перлит нагревается до пиропластического состояния под давлением, затем давление снимается и выделяющаяся в виде пара вода вспучивает стекло. Снятие давления нарушает равновесие системы: происходит выделение паров, которые образуют в пластичном материале большое количество газовых пузырьков. Аппаратура представляет автоклав с внутренним нагревом. Держатель образцов через шток соединен с поршнем, перемещающимся внутри цилиндра. Регулировка движения поршня осуществляется сжатым воздухом. Баротермальный способ весьма эффективен при вспучивании слабопористых в нормальных условиях разновидностей перлитов. Таблиц 2. Иллюстраций 2.

УДК 553.6.693.4

**Применение вулканических стекол и близких к ним горных пород в индустриальном строительстве.** С п и в а к Н. Я., С е д а к о в а М. Т. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Перлитобетон по своим физико-техническим свойствам является эффективным материалом для крупнопанельных конструкций зданий. Панели наружных стен из перлитобетона конструируются однослойными. Применение перлитобетона в наружных однослойных стеновых панелях позволяет уменьшить толщину стены в 2 раза, а вес в 5 раз по сравнению с кирпичными. Вес перлитобетонных стен на 10% меньше, чем стен из трехслойных железобетонных панелей. Установлена техническая и технологическая возможность применения перлитобетона для внутренних ограждающих конструкций. При применении в зданиях основных конструкций из перлитобетона (наружные стены из перлитобетона на кондиционном перлите и внутренние из бетонов на тяжелом перлите) возможно снижение веса в 1,5 раза по сравнению с весом зданий из обычных конструкций. Благодаря этому повышается сейсмическая устойчивость зданий. Таблиц 9. Иллюстраций 1.

УДК 553.6.693.4.621.9—496.479.25

**Стеклообразные породы Армении и направления их комплексного использования.** О г а н е с я н М. Л. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Из перлитов Арагацского месторождения в процессе гидротермально-щелочной переработки могут быть получены следующие продукты: жидкое стекло, отбеливающие средства, адсорбенты, сырье для стекольной промышленности. Разработана методика получения стеклопластиков, армированных перлитовым волокном. На основе природных стеклообразных пород (пемза, туф, шлак, перлит) могут быть получены петроситаллы, обладающие высокими физико-механическими свойствами, а также пористые и ячеистые заполнители.

УДК 553.6.669—4

**Перлито-вермикулитовые смеси, покрытия и засыпки для отливок и слитков из цветных и черных металлов.** Ц и б р и к А. И. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Применение перлита в формовочных смесях позволяет создать максимальный температурный перепад между металлом прибыли и отливки. Концентрация усадочных раковин полностью в пределах прибыли и плотная структура образца могут быть получены в том случае, когда объем прибыли составляет 15% от объема слитка. Способность перлита к вспучиванию также может быть использована для уменьшения прочности форм и стержней после заливки их металлом. Для литейного и металлургического производства пригоден перлит, добываемый на месторождениях Закарпатья, Закавказья и Дальнего Востока. Таблиц 4.

УДК 553.6.666.95

**О взаимодействии перлитового заполнителя с глиноземистым цементом при твердении и термической обработке жароупорного бетона.** В и н о г р а д о в Б. Н. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Вспученный перлитовый заполнитель при твердении перлитобетона в нормальных условиях практически не реагирует с продуктами гидратации глиноземистого цемента. Присутствие вспученного перлита не отражается на фазовых превращениях цементирующего вещества в температурном интервале от 110 до 500°. Увеличение температуры до 800—1000° сопровождается развитием твердофазовых реакций между дегидратированным цементирующим веществом и стеклом вспученного перлита. В результате реакций возникают алюмосиликаты кальция — геленит и анортит. Введение в перлитобетон на глиноземистом цементе добавки тонкодисперсного перлита позволяет уменьшить расход дефицитного глиноземистого цемента при сохранении заданной начальной прочности. Таблиц 3. Библ. 2 назв. Иллюстраций 1.

УДК 553.6.666.95

**Гидравлическая активность вулканических стекол и ее влияние на деформативные свойства бетона.** В и н о г р а д о в Б. Н., Т а р а с о в а В. Н. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Гидравлическая активность вулканического стекла зависит от степени его гидратации, содержания кристаллических включений, удельной поверхности частиц и их химического состава. При нормальном твердении бетона между цементом и перлитом происходит реакция с образованием гидрогеленита. Гидротермальная обработка бетона способствует реакционной взаимоделию бетона и заполнителя. Экспериментально установлено, что значительная усадка (1,7—2 мм/м) в перлитобетонных изделиях наблюдается при применении в качестве заполнителя перлитового песка, обладающего низкой прочностью. Применение перлитового заполнителя с объемным весом более 250 кг/м<sup>3</sup> улучшает деформативные качества бетона. Таблиц 1. Библ. 4 назв.

УДК 553.6.666.95

**Влияние вспученного перлитового песка на процесс твердения и долговечность цементного раствора и бетона.** Каган С. М. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Для исследования фазовых превращений в цементных растворах при твердении были применены дифференциально-термический и рентгено-структурные анализы. Параллельно проводились физико-механические испытания образцов. Опытные образцы изготавливались из портландцемента и перлитового песка Закарпатского месторождения. Установлено, что в процессе автоклавной обработки раствора часть извести связывается  $\text{SiO}_2$ , оставшееся количество извести может вступать в реакцию с  $\text{CO}_2$  воздуха. Скорость атмосферной карбонизации зависит от плотности бетона. Помимо изменения прочности, карбонизация оказывает существенное влияние на усадку раствора и бетона и на их деформативные свойства. Таблиц 2. Библ. 3 назв. Иллюстраций 2.

УДК 553.6.666.7

**Исследование технологии изготовления перлитокерамических изделий способом вибровоздуховлечения.** Лабзина Ю. В. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

Способ вибровоздуховлечения позволяет изготавливать перлитокерамические изделия со следующими физико-механическими свойствами:  $d_p$  200—250  $\text{кг/м}^3$ ,  $R_{сж}$  4—8  $\text{кг/см}^2$ ,  $R_{изг}$  2,5—4  $\text{кг/см}^2$ ,  $\lambda=0,045-0,053$   $\text{ккал/м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}$ . Предельная температура применения перлитокерамики в зависимости от состава и температуры обжига составляет 820—900° С. Изделия способны воспринимать резкие изменения режима сушки без деформаций и растрескивания. Иллюстраций 2.

УДК 553.6.33

**Вопросы технико-экономической оценки перлитов в строительстве.** Рекитар Я. А., Сергеева К. А. В сб.: «Закономерности формирования и размещения месторождений вулканического стекла, его свойства и применение». Изд-во «Наука», 1968 г.

При оценке экономической эффективности применения перлита в строительстве необходимо учитывать комплексные текущие и капитальные затраты на производство, транспортировку и применение материалов в строительстве на 1  $\text{м}^2$  наружных стен. Из расчетов видно, что удельный вес части затрат, зависящей от стоимости вспученного перлита, составляет лишь 10—15% суммарной стоимости 1  $\text{м}^2$  стеновой конструкции. Решающим фактором эффективности применения перлита в строительстве является его объемный вес. Наиболее целесообразно использование в строительстве перлита небольших объемных весов прежде всего в районах с низкими расчетными температурами. Повышение мощности и эффективности использования установок по производству вспученного перлита даст возможность снизить себестоимость вспученного материала не менее чем на 15—20%. Таблиц 2. Иллюстраций 1.



**Закономерности формирования  
и размещения месторождений вулканического стекла**

*Утверждено к печати  
Институтом геологии рудных месторождений,  
петрографии, минералогии и геохимии*

Редактор *В. В. Наседкин*

Художник *В. Ф. Соболев*

Технический редактор *Т. В. Алексеева*

Сдано в набор 23/X 1968 г. Подписано к печати 26/II 1969 г.

Формат 70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага № 1.

Физ. печ. л. 17,5+1 вкл.

Усл. печ. л. 24,8. Уч.-изд. л. 24,1.

Тираж 1100 экз. Т-04121. Тип. зак. 5411

*Цена 1 р. 89 к.*

Издательство «Наука».

Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука».

Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

OT. 44 -

OT-38 -

OT-26.

---

OT-184 (Геращенко В. Р.)  
154

998

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»