

ON SUPERPOSITION OF FISSURING IN BASALTIC LAVA SHEETS¹

GEORGE TER-STEPANIAN, Prof., Dr. (Eng.)²
ANAHIT ARAKELIAN, Engineering Geologist.³

SYNOPSIS. Different types of fissuring are observed in regions of basaltic lava sheets and flows. Vertical fissuring is formed by cooling; horizontal fissuring is caused by weathering. Various types of jointing are formed by the superposition of these two sets of fissures: prismatic and columnar. This primary or intrinsic fissuring is of regional nature, being associated with the composition of lava and the conditions of its cooling and weathering. A new state of stress of lava sheets and flows is formed in some cases during further geological development due to the sliding of canyon walls, salt tectonics, the formation of clinogenetic structures, karst phenomena, etc. This state of stress results in the formation of secondary or extrinsic fissuring which is superposed on the primary one; this fact hampers engineering geological analysis. Associated with certain trajectories of stresses or linear forms of the relief, the secondary fissuring is of no regional nature; usually it stretches along certain directions. A knowledge of these directions and the distribution and type of the resultant fissuring is essential for the lay-out of impervious curtains, tunnels, cuts, underground openings, etc. Examples of the formation of superposed fissuring of lavas in Armenia are quoted.

Different types of fissuring of lava sheets and flows are formed depending on the viscosity of lavas and the conditions of their cooling and weathering. The basic or initial fissuring of basaltic lavas is vertical. It originates by a cooling of the effused lava masses and is directed normally to the cooling surface; in horizontal lava sheets and flows the initial fissuring is directed vertically downwards. Its mechanism is well known.

The fissures in upper horizons are large, and the spacing is great. The width of fissures decreases with depth and they thicken. As a result large prismatic jointing is formed in upper horizons which is replaced at depth by columnar one, the width of columns being decreased downwards. This feature of the initial jointing depends on the rate of cooling and the thickness of the lava.

High internal thermal stresses arise by quick cooling and the fissuring is concentrated in certain zones of weakness, which are distributed more or less random in consequence of local differences of the lava surface. As soon as a fissure arises the internal stresses in the adjacent areas become sharply reduced due to strain; the fissure tends to grow downwards. As the cooling of the subsurface zone proceeds, the fissure

¹ Paper presented to the Symposium on Rock Fracture of the International Society for Rock Mechanics held in 1971 in Nancy, France.

² Head, Laboratory of Geomechanics, Armenian Academy of Sciences.

³ Senior Engineer, Laboratory of Geomechanics, Armenian Academy of Sciences.

widens and deepens, the relaxation area expands on the entire subsurface zone. Therefore no new vertical fissures arise in this zone.

Internal thermal stresses are of less value on slow cooling of basaltic lavas, and the fissuring is distributed more uniformly in consequence of a greater homogeneity of conditions at depth. The increase of pressures at the depth are expected to play a certain role; it was shown for glass by Apelt (1934) and Smekal (1936). Therefore the spacing of the initial fissures at depth is less than that in the subsurface zone, and the fissures are narrower. The formation of vertical fissures comes to its close with the cooling of lavas, probably during the first few months or years following the effusion of lava, depending on the thickness of the lava sheet and the climatic conditions.

A second set of fissures comes into being later on; it is caused by weathering. Weathering fissures in vertically dissected lavas have a horizontal direction. Naturally they are more intense in the upper parts of the cooled lava sheets or flows. They split the basaltic massif and form horizontal slabs and blocks. The formation of the horizontal fissures continues during the entire process of weathering. The weathering of the walls of vertical fissures takes place simultaneously. This is the cause of different appearances of young and old lavas. The lower columnar parts of young lavas are usually fresh and bear no horizontal fissure while those of old lavas are intensely weathered and broken by horizontal fissures and notches.

It is noteworthy that vertical fissures are always continuous while horizontal fissures are interrupted sometimes by vertical ones. This testifies to the relative age of the fissures. It shows that the vertical fissures were formed in unbroken massif; they had been existed when the horizontal fissures came into being. The fact that in most cases the horizontal fissures also continue is explained by the role of slight curvature of vertical fissures. As a result the fissured basaltic masses are somewhat looked. The small vertical movement due to seasonal changes of the volume involves the neighbouring parts into motion.

The primary or intrinsic fissuring is formed as a result of such superposition of processes. It determines different types of the jointing of basaltic lavas observed in nondisplaced and undeformed lava sheets and flows. The primary fissuring of lavas resulted from their composition, and the conditions of cooling and weathering are of a regional nature, although the role of local distinctions of weathering conditions admits of no doubt (exposure of slopes, existence of canyons, climatic and hydrogeological conditions, etc.). The appearance of lavas with primary fissuring has been described repeatedly (Мушкетов и др., 1935; Tomkeieff, 1940; Заварицкий, 1955; Ширинян и Асланян, 1956; Сирин, 1961).

The following types of jointing occur in a typical cross-section of basalt sheets or flows. *Plate jointing* is located in upper horizons; here irregular flat blocks are placed like strata. This is an anisotropic massif where resistance to the mutual displacements of fragments in horizontal direction is less than in a vertical one. *Mural jointing* is found below; here cuboidal fragments are placed like masonry. This is a roughly isotropic massif. *Columnar jointing* is located in lower horizons; this is an anisotropic massif too, where resistance to the mutual displacements of fragments in horizontal direction is more than in a vertical one.

In old lavas the basalt columns are split across by weathering; the weathering proceeds intensely in the edges of prismatic blocks. In this way *mattress-like* or *spheroidal* jointing originates.

In some cases the basaltic masses are cracked by weathering into small acute-angled fragments with preferably horizontal position of their long axes; sometimes such lavas are called breccia-like, although they are distinguished from typical volcanic breccia by their lack of cementation. As to mechanics they may be compared with noncohesive material in the densest state; deviator stress applied to such material should cause a heavy dilatancy (increase of volume at shear).

Sometimes in lava sheets and flows are found the accumulations of volcanic slag-like rocks noncemented loose rounded fragments with large-size pores; these rocks are formed by ejections and cooled in air during flight. As to mechanics they may be compared with a noncohesive material in the loosest state; in this case the deviator stress should cause a heavy contractancy (decrease of volume at shear).

A new state of stress of lava sheets and flows is formed in some cases during further geological development due to the sliding of canyon walls, salt tectonics, the formation of clinogenic structures, karst phenomena, etc. Secondary fissuring arises in lava if the ensuing stress exceeds the strength of rocks. Let us consider some examples.

If river erosion cuts completely the lava sheet lying on a clay stratum, a zone of concentration of shear stresses is formed in clay under the canyon walls due to noncompensation of load. This leads to the sliding of canyon walls and the squeezing out of clays. A deformation of rocks takes place in the zone of depth creep; this leads to the formation of a new set of fissures directed along the potential surface of sliding. The secondary fissuring developed in the lava sheet over a large rock slide near the medieval temple of Gueghard in Armenia may serve as an example. Here the lava sheet is lying on the eroded surface of the Eocene clays, the strata dipping towards the river of Azat. The slide was formed as a result of a deep cutting of the river into clays. The upper part of the sliding surface intersects lavas forming the secondary fissuring and displacement of basaltic blocks; crushing of lavas occurs in the zone of the sliding surface.

If the lava sheet is lying on argillo-gypsiftrous rocks covering saliferous depositions, salt domes and rim synclines are formed in relief through the development of salt tectonics. The vertical jointing of lavas is opened in arched portions of domes and closed in rim synclines. A complex deformation takes place on slopes of domes; this leads partly to a mutual displacement of blocks along the primary jointing and partly to the crushing of blocks and the formation of slickensides. Secondary fissuring of lavas over salt domes in the canyon of the river Hrazdan in Yerevan may serve as an example. The lava sheet on that portion has levelled off the area and conserved ancient landslides that had originated on dome slopes before the effusion of lava. Secondary fissuring of lavas arises from continued salt tectonics and differential movements, particularly over in the main scarps and flanks of buried landslides (Ter-Stepanian et al., 1966, 1970a, 1970b; Arakelian et al., 1969).

If the lava-sheet forms abrupt canyon walls the vertical cooling fissures and horizontal weathering fissures compose a system of passes enabling the precipitation to flow into deep horizons without filling up the fissures. Catastrophic downpours make the drainage capacity of this system of fissures insufficient, the fissures become filled up with water, hydrostatic pressure arises in it which changes the stress state of the massif. The pressure produces lateral displacement of basaltic blocks and secondary fissuring develops. A similar case has been observed on the

abrupt wall of Sanahin plateau bounding Debed river valley at Alaverdi in Armenia.

The secondary or extrinsic jointing of lavas is superposed on the primary one and thus hinders engineering geological analysis. What occurs is by no means a simple addition of effects. The new state of stress is accounted for by general static conditions, and therefore it is independent of the primary fissuring. However, the primary fissuring affects locally the forces and stresses in points of contact between blocks through their mutual displacement due to sliding, salt tectonics, etc. and therefore it determines the type of secondary fissuring.

The secondary fissuring of lavas is of no regional nature and usually stretches along certain directions involving definite trajectories of stresses or linear forms of the relief. A knowledge of these directions and of distribution and type of the resultant fissuring is essential for the lay-out of impervious curtains, tunnels, cuts, underground openings, etc.

О НАЛОЖЕНИИ ТРЕЩИНОВАТОСТИ В БАЗАЛЬТОВЫХ ЛАВОВЫХ ПОКРОВАХ¹

Проф. Г. И. ТЕР-СТЕПАНЯН² и инж.-геол. А. П. АРАКЕЛЯН³

Реферат. В областях распространения базальтовых лавовых покровов наблюдается различного вида трещиноватость, рассекающая горные породы. При охлаждении образуется вертикальная трещиноватость, выветривание вызывает горизонтальную трещиноватость. При их наложении возникают различного вида отдельности — призматическая и столбчатая. Эта, связанная с составом лавы и условиями ее охлаждения и выветривания, первичная или присущая трещиноватость имеет региональный характер.

В процессе дальнейшего геологического развития в некоторых случаях создается новое напряженное состояние лавовых покровов, связанное с оползанием стенок каньонов, соляной тектоникой, образованием клиногенных структур, карстовыми явлениями и т. д. Это напряженное состояние ведет к образованию вторичной или неприсущей трещиноватости, накладываемой на первичную и затрудняющей инженерно-геологический анализ. Вторичная трещиноватость связана с определенными траекториями напряжений или линейными формами рельефа, и поэтому не имеет регионального характера; она обычно бывает вытянута по определенным направлениям. Знание этих направлений, размещения и характера результирующей трещиноватости необходимо при трассировании водоудерживающих завес, туннелей, выемок, размещения подземных камер и других выработок. Приводятся примеры образования наложенной трещиноватости в базальтовых лавах Армении.

В зависимости от вязкости лав и условий ее охлаждения и выветривания возникает различного вида трещиноватость лавовых потоков. В базальтовых лавах основная или первоначальная трещиноватость вертикальная. Она возникает при охлаждении излившихся лавовых масс и направлена нормально к поверхности охлаждения; в горизонтальных лавовых покровах и потоках она направлена вертикально вниз. Ее механизм хорошо известен.

В верхних горизонтах толщи трещины крупные и расположены на большом расстоянии друг от друга; с глубиной ширина трещин уменьшается и они располагаются чаще и ближе друг к другу. В результате в верхних горизонтах толщи первоначально образуется очень широкая призматическая отдельность (ширина 2—4 м), которая на глубинах

¹ Доклад, представленный Симпозиуму по трещиноватости горных пород Международного общества по механике скальных пород, в Нанси (Франция) в 1971 г.

² Заведующий Лабораторией геомеханики Академии наук АрмССР.

³ Старший инженер Лаборатории геомеханики Академии наук АрмССР.

порядка 5—10 м сменяется крупнотолбчатой отдельностью (ширина 1—2 м), на глубинах 10—20 м—среднестолбчатой (ширина 0,5—1 м), далее мелкостолбчатой (ширина 0,25—0,5 м) и даже тонкостолбчатой (ширина менее 0,25 м). Вероятно, эта особенность первоначального растрескивания базальтовых лав зависит от скорости охлаждения.

При быстром охлаждении лав возникают более высокие внутренние напряжения, растрескивание сосредоточивается в некоторых зонах ослабления, распределенных более или менее случайно, в связи с локальной неоднородностью поверхности потока. Как только возникла трещина, внутренние напряжения в прилегающей к ней области резко убывают вследствие происшедшей деформации, а трещина имеет тенденцию к росту вниз. По мере дальнейшего охлаждения приповерхностной зоны, расширения и углубления образовавшейся вначале трещины область релаксации внутренних напряжений расширяется и распространяется на всю поверхностную зону. Поэтому по мере охлаждения в лавах не возникает новых вертикальных трещин.

При медленном охлаждении базальтовых лав внутренние напряжения имеют меньшие значения, а вследствие большой однородности условий на глубине, растрескивание распределяется более равномерно. Известную роль должно сыграть увеличение давления на глубине: для стекла это было показано Апельтом (Apelt, 1934) и Смекалом (Smekal, 1936). Поэтому расстояние между первоначальными трещинами меньше, чем в приповерхностных зонах, а сами трещины уже. Формирование вертикальных трещин заканчивается с охлаждением лав, вероятно, в течение первых нескольких месяцев или лет после излияния лав, в зависимости от мощности потока и климатических условий.

Вторая система трещин возникает позже, и вызвана выветриванием. Трещины выветривания имеют горизонтальное направление. Естественно, что они более интенсивны в верхних частях застывшего лавового потока. Эти трещины рассекают охладившуюся массу на горизонтальные пласты и блоки. Формирование горизонтальных трещин продолжается в течение всего процесса выветривания. Это служит причиной различного облика древних и молодых лав.

В результате такого наложения процессов трещинообразования возникает первичная или присущая трещиноватость, определяющая виды отдельностей базальтовых лав, наблюдаемых в несмещенных и недеформированных лавовых потоках. Первичная трещиноватость лав, будучи связана с их составом и условиями охлаждения и выветривания, имеет региональный характер, хотя несомненная роль локальных различий условий выветривания (экспозиция склонов, наличие каньонов, климатическая и гидрогеологическая обстановка и т. д.). Облик лав с первичной трещиноватостью был многократно описан (Мушкетов и др., 1935; Fomkeieff, 1940; Заварицкий, 1955; Ширинян и Асланян, 1956; Сирин, 1961).

В типичном разрезе базальтового покрова вверху встречается пластовая отдельность—неправильные блоки, расположенные наподобие пластов; это анизотропный массив, в котором сопротивление взаимным перемещениям фрагментов в горизонтальном направлении меньше, чем в вертикальном. Ниже встречается глыбовая отдельность—неправильные блоки, сложенные наподобие циклопической кладки; это грубо изотропный массив.

Нижние горизонты представлены столбчатой отдельностью; это также анизотропный массив, в котором сопротивление взаимным пере-

мещениям фрагментов в горизонтальном направлении больше, чем в вертикальном.

В древних лавах базальтовые столбы расщелены выветриванием; в ребрах призматических блоков выветривание происходит интенсивнее и возникает матрацевидная или сферическая отдельность.

В некоторых случаях при выветривании базальтовая масса рас-трескивается на мелкие остроугольные фрагменты с преимущественно горизонтальным направлением длинных осей; подобные лавы иногда называют брекчиевидными, хотя от типичных вулканических брекчий (вулканического агломерата) их отличает отсутствие сцементированности. Механически их можно сопоставить с сыпучим материалом в наиболее плотном залегании; их формоизменение должно сопровождаться сильной дилатацией (увеличением объема при сдвиге).

В лавовых потоках иногда встречаются скопления вулканических шлаковидных пород — несцементированных рыхлых округлых обломков пузыристого вещества, образовавшегося при сильных выбросах газонасыщенной лавы и остывшей в воздухе при полете. Механически их можно сопоставить с сыпучим материалом в наиболее рыхлом залегании; их формоизменение должно сопровождаться сильной контракцией (уменьшением объема при сдвиге).

В процессе дальнейшего геологического развития в некоторых случаях возникает новое напряженное состояние лавовых покровов, связанное с перемещениями масс горных пород, как-то: с оползнями стенок каньонов, соляной тектоникой, образованием клиногенных структур, карстовыми явлениями и т. д. Если возникающие при этом напряжения превосходят сопротивление горных пород сдвигу, то в них возникает вторичная трещиноватость. Рассмотрим некоторые примеры.

Если лавовый покров залегает на глинистой толще, то при прорезывании каньона речной эрозией на всю толщу лав в подстилающих глинах под стенками каньона вследствие некомпенсированности нагрузки возникает область концентрации касательных напряжений, приводящая к оползанию стенок каньона и выдавливанию глин из-под лав. В теле склона, охваченном зоной глубинной ползучести, развиваются деформации пород, ведущие к образованию новой системы трещин, направленной вдоль потенциальной поверхности скольжения. Примером может служить вторичная трещиноватость, рассекающая лавовый покров на крупном скальном оползне у средневекового храма Гегард в Армении. Здесь лавовый покров залегает на размытой поверхности глинистой толщи эоцена, с падением пластов в сторону реки Азат. Вследствие глубокого вреза реки в глинах возник крупный оползень. В верхней части поверхность скольжения сечет лавы, образуя вторичную трещиноватость и смещение блоков базальта; в зоне поверхности скольжения происходит расслаивание лав по сложной системе трещин.

Если лавовый покров залегает на глинисто-гипсоносной толще, прикрывающей мощные соляные отложения, то при развитии соляной тектоники в рельефе образуются соляные куполы и межкупольные понижения. В сводовых частях куполов вертикальные трещины отдельности раскрываются, в межкупольных понижениях — смыкаются, а на склонах куполов возникают деформации, ведущие частично к взаимному смещению блоков вдоль первичных вертикальных трещин отдельности и частично — к раздроблению блоков и образованию зеркал скольжения. Примером может служить вторичная трещиноватость в лавах над соляными куполами в каньоне р. Раздан в Ереване. На этом

участке лавовый покров, нивелируя местность, консервировал древние оползни, развившиеся на склонах куполов перед излиянием лав. Вследствие продолжающейся соляной тектоники и дифференциальных движений в лавах возникла вторичная трещиноватость, в частности над верховой и бортовыми трещинами погребенных оползней. Здесь было установлено повышенное значение коэффициента фильтрации вод в лавах (Тер-Степанян и Аракелян, 1967; Аракелян и Тер-Степанян, 1969).

Если лавовый поток образует карниз каньона, то вертикальные трещины охлаждения и горизонтальные трещины выветривания образуют систему ходов, по которым атмосферные осадки могут легко стекать в более глубокие горизонты, не заполняя трещин. При катастрофических ливнях пропускная способность этой системы трещин оказывается недостаточной, трещины заполняются водой и в ней развивается гидростатическое давление, изменяющее напряженное состояние массива. Под действием этого давления происходит боковое перемещение блоков базальтов и развивается вторичная трещиноватость. Такой случай наблюдался на карнизе Сананиского плато, ограничивающего долину р. Дебед у гор. Алаверды в Армении.

Вторичная или неприсущая трещиноватость лав накладывается на первичную и затрудняет инженерно-геологический анализ, поскольку речь не может идти о простом суммировании эффектов. Новое напряженное состояние определяется общими статическими условиями склонов, и поэтому независимо от первичной трещиноватости. Однако, в соответствии с принципом Сен-Венана, первичная трещиноватость оказывает локальное влияние на усилия и напряжения в точках контакта блоков при их соприкосновении и взаимном смещении вследствие оползания, соляной тектоники и др., и поэтому определяет собой характер возникающей вторичной трещиноватости.

Вторичная трещиноватость лав, будучи связана с определенными траекториями напряжений или линейными формами рельефа, не имеет регионального характера и обычно бывает вытянута по определенным направлениям. Знание этих направлений, а также характера и размещения результирующей трещиноватости необходимо при трассировании водоудерживающих завес, туннелей, выемок и размещении подземных камер и других выработок.

ԲԱԶԱԼՏԱՅԻՆ ԼԱՎԱՅԻՆ ՄԱՍԿՈՒՅԹՆԵՐՈՒՄ ՃՆԵՂՔԱՎՈՐՈՒԹՅԱՆ ՎԵՐԱԴՐՄԱՆ ՄԱՍԻՆ՝

Պրոֆեսոր, տեխն. գիտ. դոկտոր Գեորգ Տեր-Ստեփանյան
և ինժեներ երկրաբան Անուշիկ ԱՌԱՔԵԼՅԱՆ

Ռեֆերատ. Բազալտային լավային ծածկույթների և հոսքերի տարածված վայրերում դիտվում է տարրեր ձևի ճեղքավորում, որը հատում է լեռնային ապարները: Դուրս թափած լավաների սառնեցման ժամանակ առաջանում է ուղղածից ճեղքավորում, իսկ հոգմանահատումն առաջացնում է հորիզոնական ճեղքավորում: Այս երկու ճեղքավորման սխեմաների վերադրման հետևանքով գոյանում են տարրեր տիպի ապարների անջատումներ՝ պրիզմայանման և սյունանման: Առաջնային կամ ենթահատուկ ճեղքավորումն ունի ռեգիոնալ բնույթ, կապված լավային կազմի սառնեցման և հոգմանահատման պայմանների հետ:

¹ Նանսիրում (Ֆրանսիա) 1971 թ. կայացած ժայռային ապարների մեխանիկայի Միջազգային հասարակության լեռնապարների ճեղքավորության սինպոզիումին ներկայացված զեկուցում:

² ՀՍՍՀ ԳԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի գեոմեխանիկայի լաբորատորիայի վարիչ:

³ ՀՍՍՀ ԳԱ երկրաբանական գիտությունների ինստիտուտի գեոմեխանիկայի լաբորատորիայի ավագ ինժեներ:

երկրաբանական հետազոտողները ընթացքում, որոշ դեպքերում, ստեղծվում է լավա-
յին ծածկույթների նոր լարված վիճակ, որը կարող է կապված լինել կիրճերի պատերի սողու-
նության, աղային տեկտոնիկայի, թեքածին ստրուկտուրաների առաջացման կարստային երե-
վույթների և այլնի հետ: Այդ լարված վիճակը բերում է երկրորդական, կամ ոչ ներհատուկ ճեղ-
քավորության առաջացմանը, որը վերգրվելով առաջնայինի վրա զգալարացնում է ինժեներա-
երկրաբանական վերլուծումը:

Երկրորդական ճեղքավածությունը կապված է լարումների որոշ հետազոտների կամ ուղիների
զոնային ձևերի հետ: այդ իսկ պատճառով լուծի ռեգիոնալ բնույթ: Այն սովորաբար լինում է
որոշ ուղղությունների երկարությամբ ձգված: Այդ ուղղությունների, նրանց տեղադրման, ար-
դյունքային ճեղքավորության բնույթի գիտնական անհրաժեշտ է անջրաժամանակ վարազույնե-
րի, թունելների, հանվածքների, ստորգետնյա բացվածքների և այլ փորվածքների նախազգես-
նական, բերվում են Հայաստանի բազալտային լավաներում վերադրված ճեղքավորության
առաջացման օրինակներ:

Գ Ր Ա Վ Ա Ն Ո Ւ Թ Յ Ո Ւ Ն — ЛИТЕРАТУРА — REFERENCES

- Аракелян А. П. и Тер-Степанян Г. И., 1969. Механизм погребенных оползней верхне-
плиоценового времени, связанных с соляной тектоникой. Проблемы геомеханики,
Ереван, 3:82 — 133.
- Тер-Степанян Г. И. и Аракелян А. П., 1967. Случай деформации лав, заливших верхне-
плиоценовые оползни. Доклады к I Международному конгрессу по механике
скальных пород. М., Изд. НАМГиФ, 52—56; Проблемы геомеханики, Ереван,
1969, 3:70 — 81.
- Мушкетов И. В. и Мушкетов Д. И., 1935. Физическая геология, т. 1, 4 изд., Геол-
разведиздат, Л. — М.
- Заварицкий А. Н. 1955. Изверженные горные породы. М., Изд. АН СССР.
- Сирин А. Н., 1961. Разновидности столбчатой отдельности в лавовом потоке и условия
ее образования. Труды Лаборатории вулканологии, вып. 21. Общие вопросы
вулканологии, 50 — 56.
- Шириян К. Г. и Аслания А. Т., 1956. Совершенная столбчатая отдельность в покровах
вулканических туфов Армении в связи с их происхождением (Макарашен-
Гайдарлинское месторождение). Сб. научных трудов Ереванского политехни-
ческого института, 13:19 — 32.
- Apelt G., 1934. Einfluss von Belastungsgeschwindigkeit und Verdrehungsverformung
auf der Zerrellsfestigkeit von Glasstäben. Zeitschr. Physik, 91:336—343.
- Arakelian A. and Ter-Stepanian G., 1969. Mechanism of the Upper-Pliocene buried
landslides connected with salt tectonics. Problems of Geomechanics, Yerevan,
3:82—133.
- Smekal A., 1936. The influence of specimen width on the breaking strength of sheet
glass. J. Soc. Glass Techn., 20:449—453.
- Ter-Stepanian G. and Arakelian A., 1966. A case of deformation of lavas spread
over Upper-Pliocene landslides. Proceedings, First Congress, Internat. Society
for Rock Mechanics, Lisboa, 1:647—649; Problems of Geomechanics, Yerevan,
1969, 3:70—81.
- Ter-Stepanian G. and Arakelian A., 1970a. On deformation of lava during formation
of salt domes. Third Symposium on Salt, Cleveland, Ohio 1969. Northern Ohio
Geol. Soc., 328—330.
- Ter-Stepanian G. and Arakelian A., 1970b. Stages of collapse of lava sheet over salt
domes. Proc., Second Congress, Internat. Soc. Rock Mech., Beograd 1970,
1:175—179.
- Tomkeieff S. J., 1940. The basalt of the Giant's Causeway district of Northern Ire-
land. Bull. Volcanologique, Napoli, Serie II, t. VI.