Известия АН АрмССР, Науки о Земле, 1988. XLI, № 6. 29—36

УДК: 622.026:550.38

Г. М. АВЧЯН, Г. В. МАРКОСЯН

СВЯЗЬ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД С ПАЛЕОМАГНИТНОЙ СЛОИСТОСТЬЮ

С позиции палеомагнитной слоистости, возникающей в осадочных и магматических породах под влиянием древнего геомагнитного поля, рассмотрен процесс разрушения. Показано, что разрушение идет параллельно этой слоистости.

На основании этого предположения прогнозировано разрушение пород путем определения направления первичной остаточной намагниченности. Проведена графическая корреляция между предварительно прогнозированным направлением разрушения и экспериментальными результатами разрушения пород в лабораторных условиях. Из 52 образцов для 42 прогноз был уверенным, т. е. отклонение от теоретически рассчитанного направления не превышало ±15°.

Прогноз направления разрушения пород в геологии является основой решения многих научных и практических задач. С этой целью используются акустические, электромагнитные, радиоактивные, химические и другие свойства породы и геологического объекта.

Исследование направления разрушения пород при внедрении цилиндрического штампа показало зависимость между направлением разрушения и азимутом древнего геомагнитного поля в плоскости внедрения штампа. Этот угол для 61 образца в среднем составил 88° [1].

Корреляция между направлением древнего геомагнитного поля с осью простирания геологических структур юрского, мелового, палеогенового и четвертичного возраста на территории Армянской и Азербайджанской ССР также показала ортогональность этих направлений [2, 3]. Нами высказывалось предположение, что данная связь обусловлена ориентирующим влиянием геомагнитного поля Земли на процесс осадконакопления и распределения внутренних напряжений в магматических породах при их направленной магнитострикции.

В осадочных породах, кроме горизонтальной (гравитационной) слоистости, образуются «слои» по трем взаимно перпендикулярным направлениям, названные нами «гравимагнитными» и «магнитными» слоями или в совокупности—«палеомагнитной слоистостью» среды [4].

Гравимагнитные слои перпендикулярны направлению полного вектора геомагнитного поля эпохи образования пород, наклонены относительно горизонтальной плоскости под углом $j+90°$, где j—наклонение геомагнитного поля эпохи образования пород. Магнитные слои параллельны вектору геомагнитного поля, а их плоскости составляют угол j с горизонтальной составляющей этого же поля. Эта слоистость названа нами магнитной слоистостью I вида. Магнитные слои II вида параллельны магнитному меридиану древнего геомагнитного поля и составляют 90° относительно горизонтальной плоскости. Азимут простирания гравимагнитной и магнитной слоистости I вида равен 90° относительно меридиана древнего геомагнитного поля, а магнитной слоистости II вида $D'=0$.

Подробное описание процессов образования палеомагнитной слоистости в осадочных породах можно найти в работах [1—4]. Здесь же рассмотрим механизм образования этой слоистости в магматических породах, поскольку дальнейший прогноз направления разрушения этих пород также будет основываться именно на наличии в породах этой слоистости.

В магматических породах образование палеомагнитной слоистости обусловлено направленной кристаллизацией и ориентированной магнитострикцией. В состав магматических пород входят минералы, относящиеся по своим магнитным свойствам к диамагнитным, парамагнитным и ферромагнитным веществам. Тончайшие химические анализы показали, что минералы в чистом виде, без примесей железа, в поро-

дах почти не встречаются. В сильных магнитных полях они проявляют ферромагнитные свойства или, в крайнем случае, свойства ферримагнетиков и слабо—ферромагнетиков.

Наличие доменной структуры как у ферромагнетиков, так и ферримагнетиков, слабых ферромагнетиков и антиферромагнетиков позволяет рассмотреть процесс намагничивания породы как совокупность процессов смещения доменных границ, вращения векторов намагниченности относительно направления внешнего поля и «парапроцесса».

Согласно Неелю [7] в слабых полях намагниченность породы можно представить как интегральную величину намагниченности однодоменных невзаимодействующих частиц. Намагниченность каждой частицы при блокирующей температуре [5, 7] близка к намагниченности насыщения. Многодоменные и псевдооднодоменные частицы также при температурах, близких блокирующим, приобретают намагниченность, связанную с движением доменных границ и их вращением. Если в рассмотренных случаях представить намагниченность породы в виде совокупности магнитных моментов доменов и частиц, которые располагаются параллельно друг другу, то энергетическая связь между частицами в параллельных к магнитным моментам плоскостях, естественно, будет меньше, чем в направлении последовательного расположения частиц. В этом случае, по-видимому, появляется анизотропия напряжения, приводящая к анизотропии многих физических свойств породы. В частности, сила сцепления между двумя частицами, расположенными параллельно, с параллельными магнитными моментами должна быть меньше (из-за отталкивающих сил), чем между двумя частицами, расположенными последовательно (из-за притягивающих сил, вследствие разнополярности примыкающих концов). Это, естественно, приводит к тому, что по направлению намагниченности будет иметь место сжатие, а в перпендикулярном—растяжение.

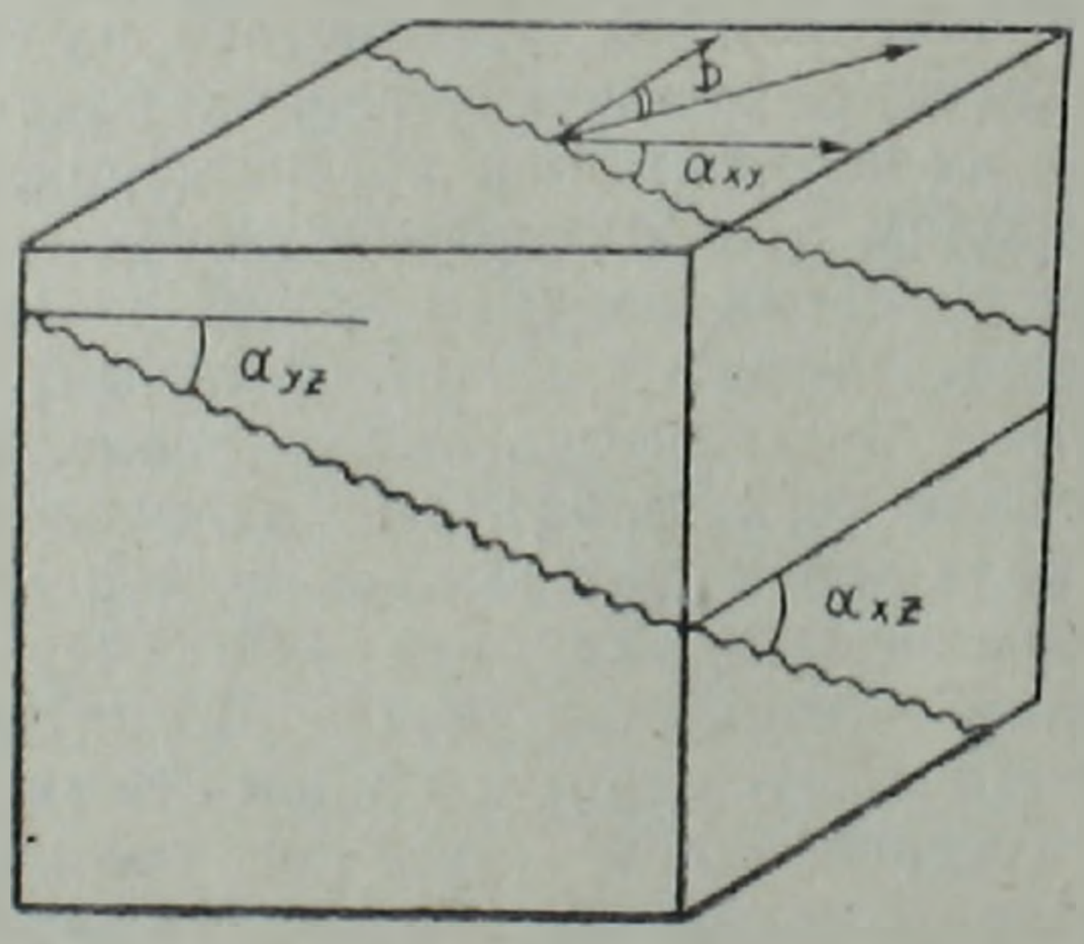

Рис. 1. Схема линий разрушения на различных плоскостях.

К аналогичному эффекту—сжатию породы по направлению намагниченности и растяжению—в перпендикулярном направлении, приводит также магнитострикция кристаллов. При намагничивании кристаллов, когда происходит параллельная ориентация векторов намагниченности доменов, или вращение доменов, появляется магнитострикционный эффект, т. е. изменение формы и объема кристалла с доменной структурой. Поскольку в магматических породах процесс кристаллизации и образования структуры обычно происходит при более высоких температурах, чем блокирующие температуры, при которых возникает термоостаточная намагниченность, то магнитострикционное явление приводит к деформации образовавшегося кристалла, в частности, к линейной магнитострикции $\Delta l/l$, где Δl—удлинение кристалла, l—его первоначальная длина. При удлинении кристалла естественно полагать, что происходит уменьшение его поперечных размеров, поскольк-

ку коэффициент Пуассона кристаллов всегда положительная величина. Таким образом, по направлению намагничивания в породе в целом будет иметь место сжатие, тогда как в ортогональном направлении, между кристаллами, появляются зоны растяжения. При правильности высказанных нами предположений, по направлению намагниченности должна наблюдаться максимальная скорость распространения ультразвуковых и сейсмических волн, а в перпендикулярном—минимальная.

Эти зоны растяжения между кристаллами, находящиеся на одной плоскости, параллельной направлению намагниченности, образуют, аналогично осадочным породам, магнитную слоистость I или II вида.

Палеомагнитная слоистость в магматических породах может возникать также вследствие ориентированной кристаллизации в магнитном поле. По данным Э. Рогачевой, А. Дубова и др. [6], при одинаковых прочих условиях кристаллизации, когда кристаллы сульфата магния (эпсонита) и сульфата никеля (моремозита) приобретают игольчатую форму, их длинные оси в большинстве случаев располагаются перпендикулярно направлению внешнего магнитного поля. Мы предполагаем, что аналогичное явление может иметь место и в магматических породах. В процессе кристаллизации различные минералы могут приобретать определенную направленность. Это должно приводить к образованию «слоистости» как по направлению магнитного поля (магнитная слоистость I вида в осадочных породах), так и в перпендикулярном направлении (аналог гравимагнитной слоистости в осадочных породах). Хорошим подтверждением указанного положения могут служить результаты опытов по изучению прочностных свойств цементного камня под действием постоянного магнитного поля [8]. Авторами этой работы было установлено, что образующиеся в процессе схватывания кристаллы ведут себя как магнетики. Магнитное поле ориентирует зародышевые образования и задает направление росту кристалла.

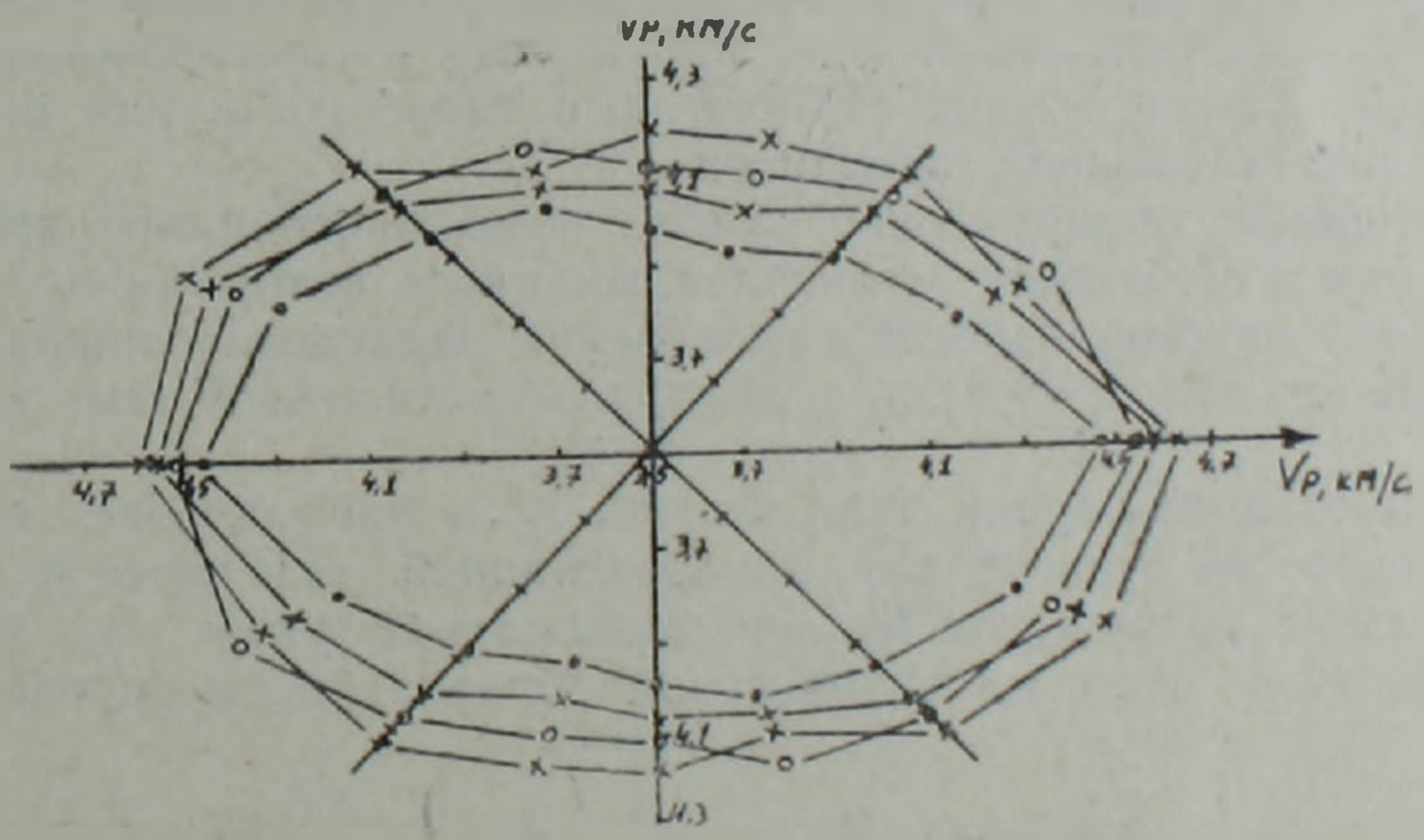

Рис. 2. Индикатриса скорости V_p для 4-х образцов базальта (из разных месторождений различаются по условному знаку). Стрелкой указано направление остаточной намагниченности.

Таким образом, рассмотренные положения, вытекающие из принципа взаимодействия намагниченных доменов по направлению их намагниченности, из сущности магнитострикции и, наконец, установленной закономерности [6, 8] кристаллизации различных минералов в магнитном поле, приводят к заключению о наличии в магматических породах «палеомагнитной слоистости», обусловленной как пространственным распределением минералов, так и распределением напряжения относительно направления намагниченности. Аналогом этой «слоистости» в осадочных породах являются «магнитные» и «гравимагнитные» слои, в совокупности, как уже отмечалось, названные палеомагнитной слоистостью горных пород [1, 4]. На рис. 2 приведены значения V_p

по окружности керна базальтов с указанием направления намагниченности. Такие измерения проводились на 38 образцах базальтов, дацитов, андезито-базальтов, порфиритов и других магматических пород. Во всех случаях получена картина, аналогичная приведенной на рис. 2. Направление максимального значения скорости совпадает с направлением первичной термоостаточной намагниченности пород.

Наличие в породах палеомагнитной слоистости несомненно должно приводить к направленному разрушению пород, т. е. разрушение должно происходить параллельно палеомагнитной слоистости. При этом важное значение должен иметь угол между направлением действия силы и плоскостью палеомагнитной слоистости породы. Для осадочных пород, если сила направлена вертикально, а $j<45°$, то разрушение идет по гравимагнитной слоистости, а если $j>45°$, то по магнитной слоистости I вида. Здесь разрушение может идти также по плоскостям, параллельным магнитной слоистости II вида. Если сила направлена в горизонтальной плоскости под углом $\beta=90°$, относительно магнитного меридиана древнего геомагнитного поля, то разрушение может идти по трем направлениям: по гравимагнитной слоистости, по гравитационной слоистости и по магнитной слоистости I вида.

При $\beta=0°$ разрушение должно идти по гравитационной слоистости (горизонтально) и по магнитной слоистости II вида (вертикально). Для магматических пород все линии разрушения должны быть параллельны направлению древнего геомагнитного поля, т. е. направлению первичной термоостаточной намагниченности. Все закономерности относительно соотношения направления разрушающей силы и направления слоистости сохраняются и для магматических пород. В горизонтальной плоскости, если разрушающая сила направлена перпендикулярно этой плоскости, линии разрушения будут перпендикулярны горизонтальной составляющей остаточной намагниченности при магнитной слоистости I вида и параллельны в случае магнитной слоистости II вида. Если разрушающая сила направлена в горизонтальной плоскости, то разрушение будет аналогичного типа, что и для осадочных пород без гравитационной слоистости.

Проведенный теоретический анализ возможного направления разрушения пород объясняет установленный ранее авторами экспериментальный факт ортогональности направления разрушения пород направлению древнего поля [1—4], т. е. первичной остаточной намагниченности.

Если обозначить грани куба xy, xz, yz, а направление гравимагнитной слоистости относительно горизонтальной оси через α (рис. 1), то направление разрушения должно выражаться углом α_{xy}, α_{xz} и α_{yz} в зависимости от того, на какой грани образца рассматривается процесс.

$$\operatorname{tg}\alpha_{xy}=\operatorname{tg}D_{xy}; \tag{1}$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{xz}=\operatorname{tg}(j-90°)\cos D_{xy}; \tag{2}$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{yz}=\operatorname{tg}(j-90°)\sin D_{xy}, \tag{3}$$

где D_{xy} и j азимут и наклонение первичной остаточной намагниченности породы, установленной по палеомагнитным данным и соответствующей направлению геомагнитного поля эпохи образования пород.

В случае магнитной слоистости I вида

$$\operatorname{tg}\alpha_{xy}=\operatorname{tg}D_{xy}; \tag{4}$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{xz}=\operatorname{tg}j\cos D_{xy}; \tag{5}$$

$$\operatorname{tg}\alpha_{yz}=\operatorname{tg}j\sin D_{xy}. \tag{6}$$

Если рассчитать «условные» азимуты для каждой грани, принимая направление намагниченности на этой грани как направление

«условного» древнего поля, то после обозначения этих азимутов через D_{xz} и D_{yz} получим:

$$\operatorname{tg} D_{xz} = \frac{\operatorname{tg} j}{\cos D} = \frac{J_{rz}}{J_{rx}}; \tag{7}$$

$$\operatorname{tg} D_{yz} = \frac{\operatorname{tg} i}{\sin D} = \frac{J_{rz}}{J_{ry}}; \tag{8}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{xz,м} = \operatorname{tg} D_{xz} \cos D; \tag{9}$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{yz,м} = \operatorname{tg} D_{yz} \cdot \sin^2 D \tag{10}$$

$$\left.\begin{aligned} &\operatorname{tg} \alpha_{xz,гм} = \operatorname{tg}(D_{xz} - 90^\circ); \\ &\alpha_{xz,гм} = D_{xz} - 90^\circ; \end{aligned}\right\} \tag{11}$$

$$\left.\begin{aligned} &\operatorname{tg} \alpha_{yz,гм} = \operatorname{tg}(D_{xz} - 90^\circ); \\ &\alpha_{yz} = D_{yz} - 90^\circ, \end{aligned}\right\} \tag{12}$$

где D_{xy}, D_{xz} и D_{yz} — „условные" азимуты на соответствующих гранях.

Анализ уравнений (11, 12) показывает, что в случае гравимагнитной слоистости на всех трех плоскостях направление разрушения (скола) составляет 90° относительно «условного» направления древнего поля. В случае магнитной слоистости I вида значения $\alpha_{xz,м}$ и $\alpha_{yz,м}$ изменяются от 0° до 90° в зависимости от D_{xy}. На плоскости (x, y), при гравимагнитной и магнитной слоистости I вида, направления разрушения должны быть перпендикулярны направлению $H_{др}$, а в случае магнитной слоистости II вида—параллельны.

Правильность предположений о направленности разрушения пород, обусловленной палеомагнитной слоистостью, была проверена также серией опытов по разрушению фельзитов, туфов, базальтов и других пород.

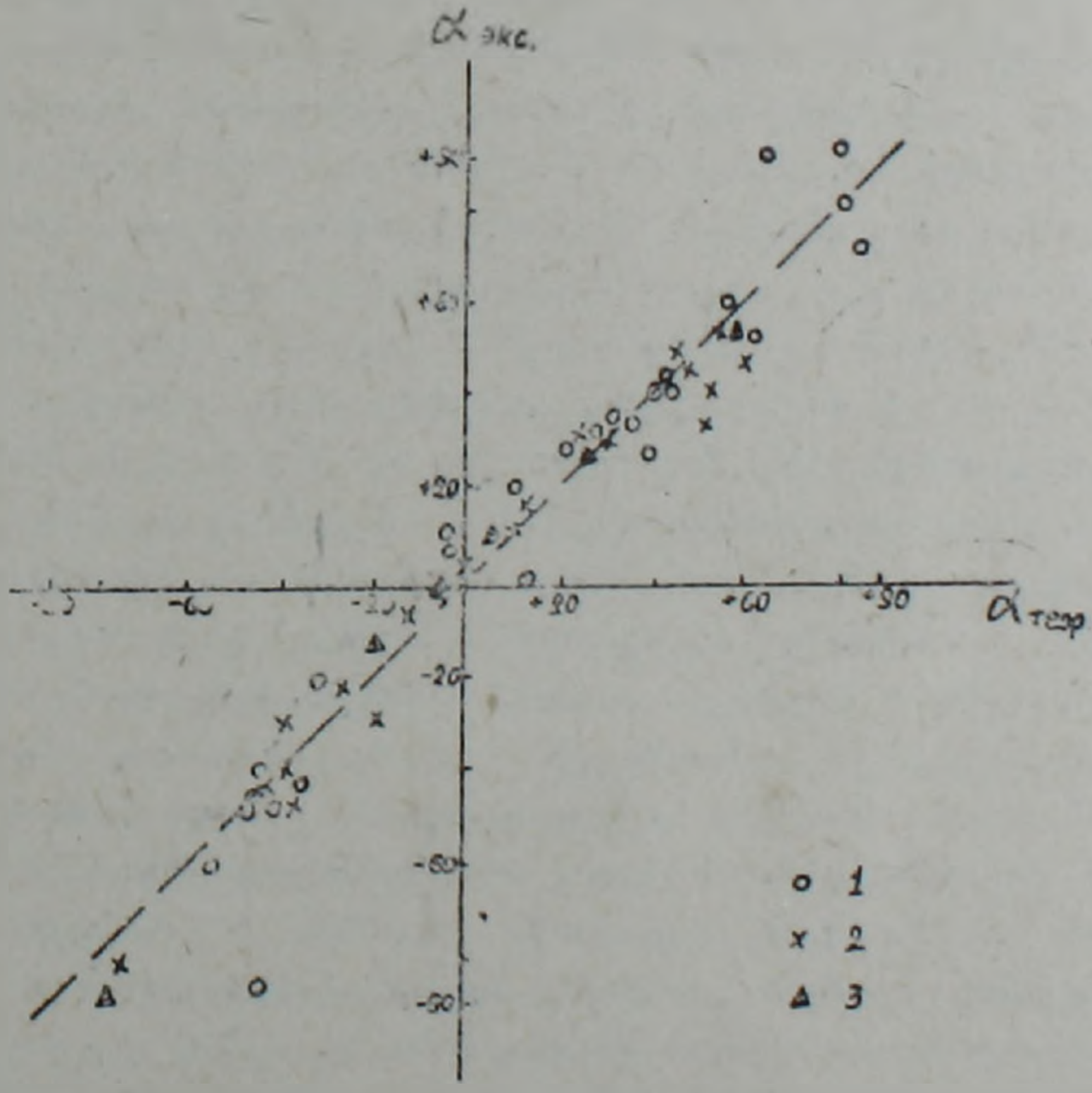

Рис. 3. Графическая корреляция между теоретическими ($\alpha_{теор}$) и экспериментальными ($\alpha_{эксп}$) данными направления разрушения пород. 1—туфы; 2—песчаники; 3—базальты, дациты.

На рис. 3 приведены результаты сопоставления азимутов разрушения пород, рассчитанных предварительно по уравнениям (7—12) и полученных экспериментально при разрушении пород различного состава и возраста (графическая корреляция).

Как видно, прогноз направления разрушения достаточно эффективен. Из 52 образцов для 42 прогноз был достаточно уверенным, т. е. отклонение от теоретически рассчитанного направления не превышало ±15°. Для 6-ти образцов это отклонение превышало 30—40°, что, по-видимому, является следствием вторичных изменений породы или недостоверностью палеомагнитных данных по этим образцам (известняки). Для 4-х образцов туфов теоретические и экспериментальные результаты отличались по знаку.

Таким образом, имеющиеся в настоящее время результаты лабораторных исследований по разрушению пород показывают хорошее соответствие с теоретическими основами прогноза направления разрушения, вытекающими из предположения о наличии в породе палеомагнитной слоистости.

Ереванский государственный университет

Поступила 28.XII.1987.

Հ. Մ. ԱՎՋՅԱՆ, Կ. Վ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ

ԱՊԱՐՆԵՐԻ ՔԱՅՔԱՅՄԱՆ ՈՒՂՂՈՒԹՅԱՆ ԿԱՊԸ ՀՆԱՄԱԳՆԻՍԱԿԱՆ ՇԵՐՏԱՅՆՈՒԹՅԱՆ ՀԵՏ

Ամփոփում

Ապարների քայքայման ուղղության կանխագուշակումը երկրաբանության մեջ հանդիսանում է մի շարք գիտական և գործնական խնդիրների լուծման հրաշխիքը։ Այդ իմաստով օգտագործվում են ապարների և երկրաբանական օբյեկտների մի շարք հատկություններ՝ ակուստիկ, էլեկտրամագնիսական, ռադիոակտիվ, քիմիական և այլն։ Ապարների քայքայման ուղղության ուսումնասիրումը գլանաձև դրոշմոցի (շտամպի) ներդրման եղանակով ցույց է տալիս, որ դրոշմոցի ներդրման հարթության սահմաններում կապ գոյություն ունի քայքայման ուղղության և հնամագնիսական դաշտի ուղղության միջև։ 61 նմուշների համար այդ ուղղություններով կազմված անկյան միջին արժեքը ստացվել է 88°։ Այս կապը բնութագրվում է որպես երկրի հնամագնիսական դաշտի կողմնորոշված ազդեցության արդյունք նստվածքագոյացման ընթացքի վրա։ Նման ազդեցություն մասնակիորեն դիտվում է նաև մագմատիկ ապարներում, որը պայմանավորված է ներքին լարումների բաշխումով։ Նստվածքային ապարների մոտ, բացի հորիզոնական (գրավիտացիոն) շերտայնությունից, առաջանում են «շերտեր», որոնք մեր կողմից անվանված են «գրավիմագնիսական» և «մագնիսականն» առաջին և երկրորդ տեսքի շերտեր, կամ միասին վերցրած՝ միջավայրի «հնամագնիսական շերտայնություն»։ Գրավիմագնիսական շերտերը ուղղահայաց են ապարառաջացման ժամանակաշրջանի երկրի մագնիսական դաշտի ընդհանուր վեկտորին։ Թեքությունը հորիզոնական հարթության նկատմամբ կազմում է j անկյուն, որտեղ j-ն ապարառաջացման ժամանակաշրջանի երկրի մագնիսական դաշտի հակման անկյունն է։ Մագնիսական շերտերը զուգահեռ են երկրի մագնիսական դաշտի վեկտորին, իսկ նրանց հարթությունները այդ դաշտի հորիզոնական բաղադրիչի հետ կազմում են $j+90°$ անկյուն։ Այդ շերտայնությունն անվանում ենք առաջին տեսքի մագնիսական շերտայնություն։ Այն շերտայնությունը, որը զուգահեռ է հնագույն մագնիսական դաշտի միջօրեականին և հորիզոնական

հարթության հետ կազմում է 90° անկյուն, անվանում ենք երկրորդ տեսքի մագնիսական շերտայնություն։ Գրավիմագնիսական և առաջին տեսքի մագնիսական շերտայնության տարածման ափիմուտը 90° է կազմում երկրի հնագույն մագնիսական դաշտի միջօրեականի նկատմամբ, իսկ երկրորդ տեսքի մագնիսական շերտայնությանը՝ զրո է։

Հոդվածում տրվում են մագմատիկ ապարներում արտաքին մագնիսական դաշտի (երկրի մագնիսական դաշտի) ազդեցության տակ վերը նշված հնամագնիսական շերտայնության առաջացման հիմնական էտապները՝ պայմանավորված ուղղորդված բյուրեղագոյացմամբ և մագնիսաստրիկցիայով։ Հիմնականում հաշվի առնելով մագնիսաստրիկցիայով պայմանավորված փոփոխությունները մագմատիկ ապարներում ապարառաջացման ժամանակաշրջանում մագնիսական դաշտի ազդեցության տակ առաջանում են առաջին և երկրորդ տեսքի մագնիսական շերտայնություններ։ Հնամագնիսական շերտայնության առաջացումը մագմատիկ ապարներում բացատրվում է նաև մագնիսական դաշտում ուղղորդված բյուրեղագոյացմամբ։

Հնամագնիսական շերտայնության գոյությունը ապարներում անտարակուսելիորեն պետք է հանգեցնի ապարների ուղղորդված քայքայման, որը կընթանա այդ շերտերին զուգահեռ ուղղությամբ։ Այստեղ մեծ նշանակություն ունի քայքայող ուժի ազդման ուղղության և հնամագնիսական շերտայնության հարթության միջև կազմված անկյունը։ Նստվածքային ապարներում, եթե ուժն ուղղված է ուղղաձիգ, իսկ $j<45°$, ապա քայքայումը կընթանա գրավիմագնիսական շերտայնության ուղղությամբ, իսկ եթե $j>45°$, ապա՝ առաջին տեսքի մագնիսական շերտայնության ուղղությամբ։ Այստեղ քայքայումները կարող են ընթանալ նաև երկրորդ տեսքի մագնիսական շերտայնության ուղղությամբ։ Երբ ուժը կիրառված է հորիզոնական հարթության մեջ հնագույն մագնիսական դաշտի միջօրեականի ուղղության նկատմամբ $\beta=90°$ անկյան տակ, ապա քայքայումը կարող է ընթանալ երեք ուղղություններով՝ գրավիմագնիսական, գրավիտացիոն և առաջին տեսքի մագնիսական շերտայնություններով։ $\beta=0°$ դեպքում քայքայումը կընթանա գրավիտացիոն (հորիզոնական) և երկրորդ տեսքի մագնիսական (ուղղաձիգ) շերտայնություններով։

Մագմատիկ ապարներում քայքայման բոլոր ուղղությունները պետք է համընկնեն երկրի հնագույն մագնիսական դաշտի ուղղության հետ, այսինքն առաջնային ջերմամնացորդային մագնիսականության ուղղության հետ։ Հորիզոնական հարթության մեջ, եթե քայքայող ուժը ուղղված է այդ հարթությանը ուղղահայաց, ապա քայքայման ուղղությունը ուղղահայաց կլինի մնացորդային մագնիսականության հորիզոնական բաղադրիչին առաջին տեսքի մագնիսական շերտայնության դեպքում և զուգահեռ՝ երկրորդ տեսքի մագնիսական շերտայնության դեպքում։ Երբ ուժը զուգահեռ է ուղղված հորիզոնական հարթության նկատմամբ, ապա քայքայման ուղղությունները համընկնում են նստվածքային ապարների քայքայման ուղղություններին, բացառությամբ գրավիտացիոն շերտայնությունից։

Այս տեսանկյունից կատարված են տեսական հետազոտություններ, դուրս են բերված բանաձևեր, որոնք կապ են ստեղծում քայքայման ուղղության և մնացորդային մագնիսականության պարամետրերի միջև, դիտարկելով տարբեր ուղղությունների քայքայման հարթությունները տարբեր կողմերից քայքայող ուժի կիրառման դեպքում։ Փորձնական ճանապարհով հետազոտված են 52 նմուշներ, որոնցից 42-ի մոտ քայքայման ուղղության կանխագուշակումը հավաստի է եղել, տեսական հաշվարկից շեղումները կազմել են $\pm 15°$։