

7. Асланян А. Т., Арутюнян А. В.—Исследование упругих свойств, плотности и сжимаемости серпентинитов Армении при высоких давлениях. Изв. АН Арм. ССР, Науки о Земле, № 4, 1979, с. 3—14.
8. Асланян А. Т. Основные черты геологического развития Армянской ССР.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1981, № 3, с. 3—21.
9. Асланян А. Т., Арутюнян А. В.—Глубинное строение, состав и некоторые процессы в недрах Земли в свете исследований физико-механических свойств горных пород при высоких давлениях и температурах—В кн.: «Моделирование земной коры территории Армении с помощью экспериментального изучения петрофизических свойств горных пород». Межвузовский тематический сборник научных трудов ЕрПИ, Ереван, 1986, с. 12—21.
10. Вегуни А. Т., Бдоян А. А.—Исследование свойств горных пород при фазовых превращениях ультразвуковым методом в условиях высоких давлений и температур. Тезисы докладов XI Международной конференции МАРИВД. Киев 1987.
11. Велинский В. В., Банников О. Л.—Оливины альпийских гипербазитов. Новосибирск. «Наука» 1986, 101 с.
12. Дир У. А., Хауи Р. А., Зусман Дж.—Породообразующие минералы, т. 1. III.—М. Мир, 1966а, —316 с.
13. Курода И., Мацухиси И.—О кристаллической структуре оливина—В кн.: Проблемы петрологии и генетической минералогии т. 2, М., Наука, 1970, с. 169—181.
14. Пинус Г. В., Велинский В. В., Леснев Ф. П. и др.—Альпийские гипербазиты Анадырско-Корякской складчатой системы.—Новосибирск, Наука, 1973. 320с.
15. Helena S., Keiji Y.—Thermal transformation of chrysotile studied by high resolution electron microscopy.—Clays and Clay miner. 1979. v. 27, № 3, p. 161—174.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле, XL1, № 3, 39—46, 1988

УДК:552:50.834

Г. М. АВЧЯН, Л. ГЕНГЕМАН, Г. В. МАРКОСЯН

АНИЗОТРОПИЯ СКОРОСТИ УПРУГИХ ВОЛН В ГОРНЫХ ПОРОДАХ

В статье рассматривается анизотропия упругих волн в горных породах, обусловленная палеомагнитной слоистостью, образованной под направляющим воздействием магнитного поля Земли.

В работе авторов [1] было показано, что на формирование структуры пород существенное влияние оказывает магнитное поле Земли эпохи их образования.

Под действием геомагнитного поля как в осадочных, так и в магматических породах образуются «слои», обусловленные ориентирующим действием геомагнитного поля как при осаждении частиц в водных бассейнах, так и при кристаллизации магмы и при магнитоотрицании ферромагнетиков в процессе намагничивания.

Кроме горизонтальной (гравитационной) (г) слоистости, в породах образуются также слои по трем взаимно перпендикулярным направлениям, названным нами «гравимагнитными» (гм) и «магнитными» (м) слоями или в совокупности «палеомагнитной слоистостью» среды.

Гравимагнитные слои перпендикулярны направлению полного вектора геомагнитного поля эпохи образования пород, наклонены относительно горизонтальной плоскости под углом $90-j$, где j —наклонение геомагнитного поля эпохи образования пород.

Магнитные слои параллельны вектору геомагнитного поля. Если плоскости магнитных слоев составляют угол j с горизонтальной плоскостью, то эта слоистость названа нами магнитной слоистостью I вида. Магнитные слои II вида параллельны магнитному меридиану древнего геомагнитного поля и составляют угол 90° относительно горизонтальной плоскости. Азимут простирания гравимагнитной и магнитной слоистости I вида относительно меридиана древнего геомагнитного поля равен $D'=90^\circ$, а магнитной слоистости II вида $D'=0$ (рис. 1).

Наличие в породе палеомагнитной слоистости предопределяет анизотропию физических свойств. При этом значение физического пара-

метра, характеризующего свойство породы, должно быть функцией элементов магнитного поля эпохи образования пород, т. е. функцией азимута D и наклонения j .

В качестве параметра анизотропии используем отношение значения скорости по направлению определенного вида слоистости V_{\parallel} к величине скорости по направлению, перпендикулярному слоистости V_{\perp}

$$\lambda_{\text{ГМ}} = \frac{V_{\parallel, \text{ГМ}}}{V_{\perp, \text{ГМ}}}; \quad \lambda_{\text{М}} = \frac{V_{\parallel, \text{М}}}{V_{\perp, \text{М}}}; \quad \lambda_{\text{Г}} = \frac{V_{\parallel, \text{Г}}}{V_{\perp, \text{Г}}}. \quad (1)$$

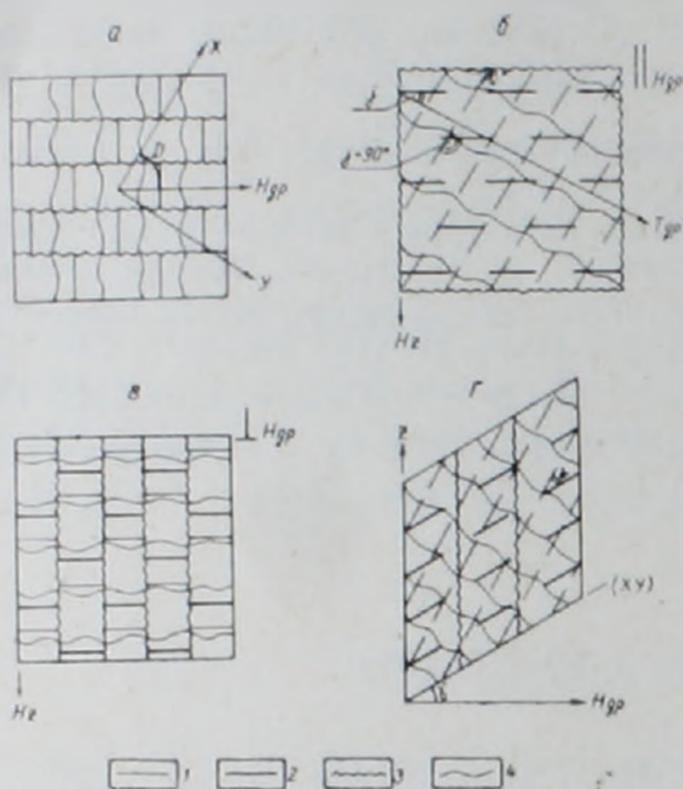


рис. 1. Схема палеомагнитной слоистости в различных плоскостях. а) в горизонтальной плоскости; б) в вертикальной плоскости, параллельной магнитному меридиану $T_{\text{др}}$ ($H_{\text{др}}, \perp$); в) в вертикальной плоскости, перпендикулярной магнитному меридиану $T_{\text{др}}$ ($H_{\text{др}}, \perp$); г) в вертикальной плоскости под углом γ относительно магнитного меридиана. 1—направление гравимагнитной слоистости; 2—направление гравитационной слоистости; 3—направление магнитной слоистости II вида; 4—направление магнитной слоистости I вида.

При отсутствии слоистости, т. е. для изотропной среды $V_{\parallel} = V_{\perp} = V_{\text{max}}$, где V_{max} — скорость в изотропной среде, соответствующая скорости по направлению слоистости анизотропной среды.

Естественно полагать, что структура породы представлена совокупностью всех видов слоистости. Однако степень проявления или влияния каждой из них на те или другие параметры может быть различной. Например, на скорость распространения упругих волн в горизонтальной плоскости гравитационная слоистость не оказывает влияния. Аналогично, магнитная слоистость II вида не оказывает влияния на V_{\perp} , если мы рассматриваем распространение волны в вертикальном направлении.

Весьма сложна картина в вертикальных плоскостях, находящихся под углом γ относительно направления магнитного меридиана древнего геомагнитного поля (рис. 1). Здесь могут одновременно проявляться все виды слоистости и, особенно, если мы рассматриваем значение физического параметра по направлению, параллельному этой плоскости.

Картина упрощается, если рассматривать в плоскости, направленной параллельно древнему магнитному полю, т. е. принять $\gamma = 0$ (рис. 1б) или $\gamma = 90^\circ$ (рис. 1в). Как видно из рисунков, более простая картина во втором случае. Здесь имеем две системы слоистости, находящиеся относительно друг друга под углом 90° . Такая же картина распределения слоистости в плоскости (xy) . Здесь линии простирания гравимагнитной и магнитной слоистости I вида перпендикулярны, а магнитной слоистости II вида — параллельны магнитному меридиану древнего геомагнитного поля. Для упрощения аналитического анализа зависимости $V_{\text{р}}$ от палеомагнитной слоистости предположим, что в породе имеются только два вида слоистости: гравитационная и гравимагнитная (рис. 2б). Значения длинных полуосей эллипсов равны

$$V_{\parallel, \text{ГМ}} = V_{\parallel, \text{Г}} = V_{\text{max}} \quad (2)$$

Скорость в горизонтальной плоскости $V_{xy,гм}$ и $V_{xy,г}$ по направлению горизонтальной составляющей древнего магнитного поля $D'=0$ на основе канонического уравнения эллипса с учетом (1), (2) будет:

$$V_{xy,гм}^2 = \frac{V_{max}^2}{\lambda_{гм}^2 \cos^2 j + \sin^2 j}; \quad (3)$$

$$V_{xy,г} = V_{max}. \quad (4)$$

В направлении, перпендикулярном горизонтальной компоненте (направление, перпендикулярное плоскости рисунка), скорость не зависит от наклона j и равна $V_{\perp} = V_{max}$.

Аналогично для вертикальной составляющей V_z напишем:

$$V_{z,гм}^2 = \frac{V_{max}^2}{\lambda_{гм}^2 \sin^2 j + \cos^2 j}; \quad (5)$$

$$V_{z,г}^2 = V_{\perp,г}^2, \quad (6)$$

Обозначим угол наклона длинной полуоси эллипса анизотропии, обусловленной гравимагнитной слоистостью, на данной плоскости относительно горизонтальной оси через α . Нетрудно заметить, что α является функцией угла γ между x и $H_{др}$. При $\gamma=0$ угол α равен $j-90^\circ$, а при $\gamma=90^\circ$ значение α равно нулю. В общем виде

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg}(j-90^\circ) \cos \gamma. \quad (7)$$

При $\gamma=0$ рассматривается плоскость $z \div x$, при $\gamma=D$ плоскость $z \div H_{др}$ и при $\gamma=90^\circ$ плоскость $y \div z$. Если ось x совпадает с современным магнитным меридианом, то $\gamma=D$

$$\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg}(j-90^\circ) \cos D. \quad (7')$$

С учетом (7) уравнение (3) примет вид

$$V_{xy,гм}^2 = \frac{V_{max}^2}{\lambda_{гм}^2 \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}, \quad (8)$$

где

$$\alpha = \operatorname{arctg}[\operatorname{tg}(j-90^\circ) \cos \gamma]. \quad (9)$$

Значения $V_{z,гм}$ и $V_{z,г}$ от азимута D не зависят.

Было отмечено, что анизотропия в горизонтальной плоскости не зависит от гравитационной слоистости, в связи с чем индикатриса анизотропии в плоскости xy будет определяться только соотношением скоростей V_{\parallel} и V_{xy} , являющихся полуосями эллипса анизотропии на плоскости xy .

Поскольку угол между V_{xy} и координатной осью x , совпадающей с направлением магнитного меридиана на месте отбора пород, является магнитным азимутом D , то значения скорости по осям x и y будут:

$$V_x^2 = \frac{V_{\parallel}^2}{C_V^2 \cos^2 D + \sin^2 D}, \quad (10)$$

$$V_y^2 = \frac{V_{\parallel}^2}{C_V^2 \sin^2 D + \cos^2 D}, \quad (11)$$

$$C_V = \frac{V_{\parallel}}{V_{xy}}. \quad (12)$$

При различных видах слоистости значение C_V определяется также параметрами $\lambda_{гм}$, λ_m и j

$$C_{V,гм}^2 = \lambda_{гм}^2 \cos^2 j + \sin^2 j; \quad (13)$$

$$C_{V,мI}^2 = \lambda_{м,I}^2 \sin^2 j + \cos^2 j; \quad (14)$$

$$C_{V,мII}^2 = 1/\lambda_{м,II}^2. \quad (15)$$

Составим отношение скоростей по направлениям x и y :

$$\left(\frac{V_x}{V_y}\right)^2 = \frac{C_V^2 \sin^2 D + \cos^2 D}{C_V^2 \cos^2 D + \sin^2 D}, \quad (16)$$

где C_V определяется видом слоистости в соответствии с уравнениями (13, 14, 15).

Анализ уравнения (16) показывает, что независимо от C_V , при $D=45^\circ$ отношение V_x/V_y равно единице. В случае гравимагнитной слоистости при $D < 45^\circ$, $V_x/V_y < 1$, а при $90^\circ > D > 45^\circ$, $V_x/V_y > 1$. При $D=0$ отношение V_x/V_y — минимально и равно

$$(V_x/V_y)_{D=0}^2 = \frac{1}{C_V^2} = \frac{1}{\lambda_{гм}^2 \cos^2 j + \sin^2 j}, \quad (17)$$

а при $D=90^\circ$ значение V_x/V_y достигает максимума

$$(V_x/V_y)_{D=90^\circ}^2 = C_V^2 = \lambda_{гм}^2 \cos^2 j + \sin^2 j. \quad (18)$$

Если анизотропия обусловлена магнитной слоистостью I вида, то зависимость V_x/V_y от D аналогична, что и для гравимагнитной слоистости. Однако здесь с увеличением j отношение V_x/V_y при заданном D уменьшается, тогда как при гравимагнитной слоистости это отношение увеличивается, достигая величины $\lambda_{гм}$.

$$(V_x/V_y)_{D=0}^2 = \frac{1}{\lambda_{м,I}^2 \sin^2 j + \cos^2 j}; \quad (19)$$

$$(V_x/V_y)_{D=90^\circ}^2 = \lambda_{гм}^2 \sin^2 j + \cos^2 j. \quad (20)$$

Если анизотропия обусловлена магнитной слоистостью II вида, то

$$(V_x/V_y)^2 = \frac{C_V^2 \cos^2 D + \sin^2 D}{C_V^2 \sin^2 D + \cos^2 D}, \quad (21)$$

где

$$C_V = 1/\lambda_{м,II}. \quad (22)$$

В этом случае максимум V_x/V_y будет при $D=0$, а минимум при $D=90^\circ$. При $0 \leq D < 45^\circ$, $V_x/V_y > 1$, а при $45^\circ < D \leq 90^\circ$, $V_x/V_y < 1$.

Таким образом, анализируя связь между V_x/V_y и D , можно установить вид слоистости. При $D < 45^\circ$ в случае гравимагнитной и магнитной слоистости I вида отношение V_x/V_y должно быть меньше единицы, а при $D > 45^\circ$ — больше единицы. При магнитной слоистости II вида отношение V_x/V_y больше единицы, когда $0 \leq D < 45^\circ$, и меньше единицы — если $D > 45^\circ$.

Проверка теоретических предположений зависимости анизотропии скорости распространения упругих волн от направления древнего геомагнитного поля была проверена экспериментально, путем измерения V_x , V_y , V_z , j и D для различных песчано-глинистых пород¹, туфов, ба-

¹ Образцы вулканогенно-осадочных пород любезно предоставлены ст. и с. физического ф-та МГУ О. Л. Багиной, за что авторы выражают глубокую благодарность.

зальтов и порфиритов. Измерения скорости проводились на специально собранной установке, позволяющей измерение времени распространения волны с ошибкой 0,05 мс. Это обеспечивало измерение V на базе от 2,5 до 5 см с ошибкой не более 1%.

Направление древнего геомагнитного поля j и D определялось на основе палеомагнитных исследований. Проведен анализ данных на сетке Каврайского, дана оценка кучности K , определена стабильность первичной намагниченности, ее репрезентативность с древним полем и т. д. [2].

Для подтверждения наличия связи анизотропии скорости с палеомагнитной слоистостью, необходимо оценить среднее значение отношения скоростей по взаимно перпендикулярным направлениям разновозрастных пород одного литологического состава и сопоставить это значение со средней величиной j и D , полученной на основе статистики Фишера. Этим методом можно получить одно значение на кривой зависимости $V_x/V_y = f(D)$ по уравнению (16) или (21).

Однако аналогичные результаты можно получить и в большем диапазоне D , если каждый образец рассматривать как представителя условной коллекции «разновозрастных» пород, у которых азимут D также является условным и соответствует углу D' между истинным I_1'' и условным направлением X , взятым произвольно на горизонтальной плоскости. На рис. 2 приведены экспериментальные значения V_x/V_y в зависимости от D и j . Нами рассматривались эти зависимости как для каждой коллекции в отдельности, т. е. для пород одного возраста с произвольным выбором координатных осей относительно направления древнего геомагнитного поля $H_{др}$, так и совместно для различных коллекций с учетом среднего азимута и наклона, полученных на ос-

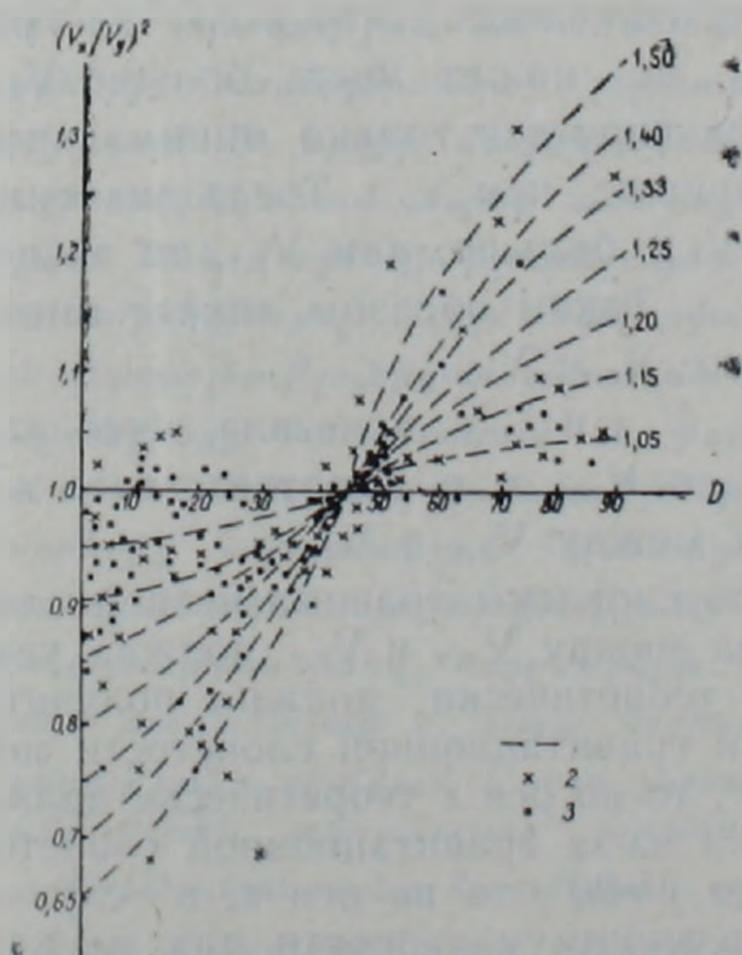


Рис. 2. Зависимость V_x/V_y от D . 1—теоретические кривые; экспериментальные данные; 2—туфы Армении; 3—вулканогенно-осадочные породы Курильских островов. Шифр кривых — анизотропия λ .

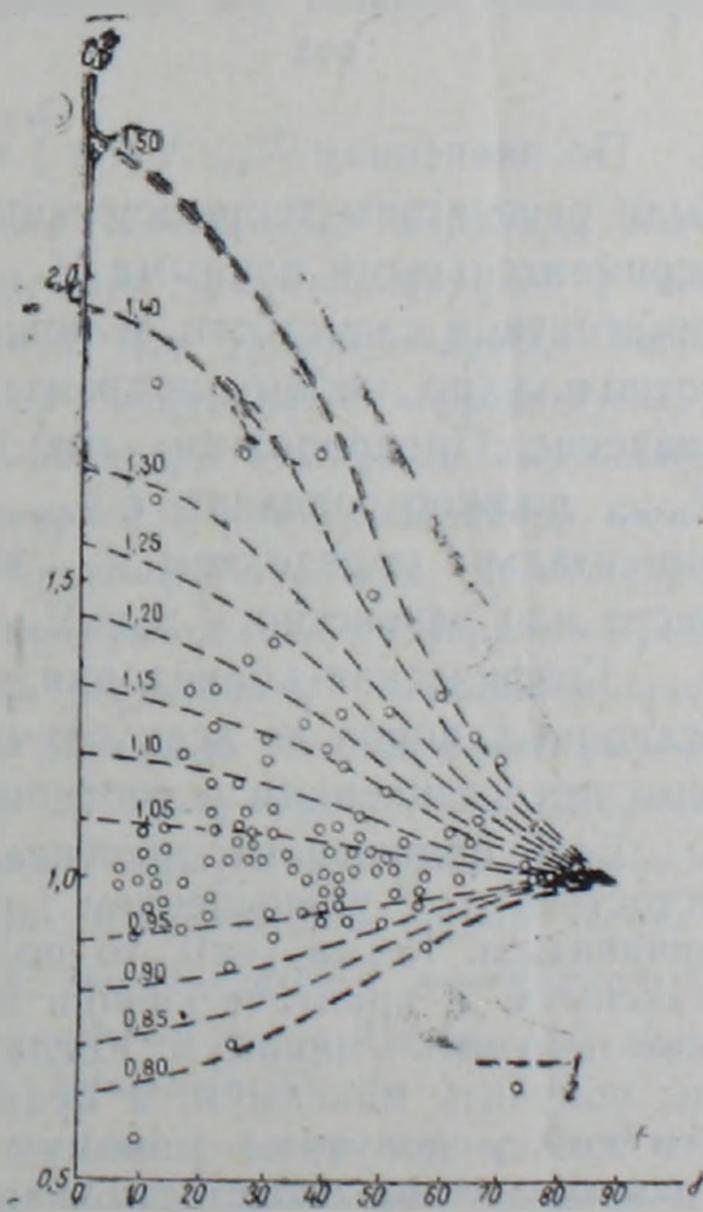


Рис. 3. Зависимость условного коэффициента анизотропии C_v от магнитного наклона j . 1—теоретические кривые; 2—экспериментальные данные.

нове статистики Фишера. Нетрудно заметить, что экспериментальные результаты согласуются с теоретическими расчетами, что является хорошим фактором, подтверждающим природу анизотропии скорости, т. е. наличие гравимагнитной слоистости в породах.

По данным рис. 2 на основе уравнений (13—15) были рассчитаны значения S_y и скоррелированы с величиной j (рис. 3). Как видно, здесь также экспериментальные данные качественно согласуются с теоретическими.

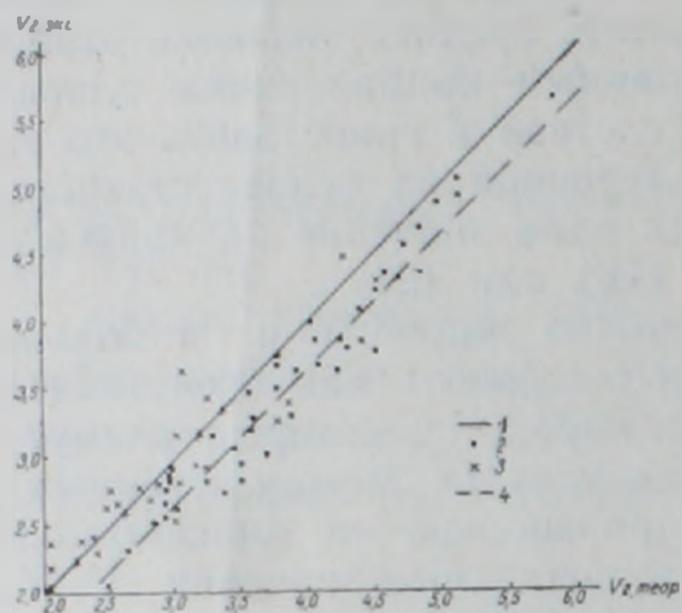


Рис. 4. Графическая корреляция между $V_{z,э}$ и $V_{z,т}$. 1—линия равных значений $V_{z,э}$ и $V_{z,т}$; 2—значения для осадочных пород; 3—значения для магматических пород; 4—осредненные значения для осадочных пород

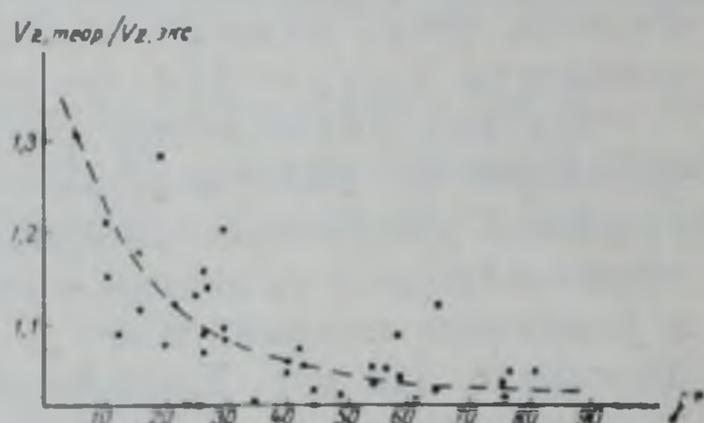


Рис. 5. Зависимость отношения $V_{z,т}/V_{z,э}$ от наклона намагниченности j для осадочных пород. 1—экспериментальные значения; 2—осредненная кривая.

По значениям V_{xy} , V_{\perp} и j в соответствии с уравнениями (3,5 и 8) были рассчитаны теоретические значения $V_{z,т}$ и сопоставлены с экспериментальными данными $V_{z,э}$. Уже отмечалось, что в случае гравимагнитной слоистости величина $V_{z,э}$ не может быть больше $V_{z,т}$, поскольку по любому направлению фиксируется только минимальное значение. Предположим, что $V_{z,гм}$ меньше, чем $V_{z,г}$. Тогда значение $V_{z,гм,т}$ должно совпадать с $V_{z,э}$. Если $V_{z,гм}$ больше, чем $V_{z,г}$, то экспериментально определяем $V_{z,г}$, а не $V_{z,гм}$. Таким образом, может иметь место или равенство $V_{z,г}$ и $V_{z,э}$ или же $V_{z,э} < V_{z,г}$.

Графическая корреляция между $V_{z,э}$ и $V_{z,т}$ показала, что для осадочных пород во всех случаях $V_{z,э} \leq V_{z,т}$, т. е. соответствует нашим представлениям о соотношениях между $V_{z,э}$ и $V_{z,т}$.

Если пониженные значения V_p обусловлены гравимагнитной слоистостью, то с уменьшением j разница между $V_{z,э}$ и $V_{z,т}$ должна увеличиваться. Когда $j=0$, то по оси z теоретически должны получить максимум, а практически при наличии гравитационной слоистости можем получить—минимум. Когда $j \rightarrow 30^\circ$, то по оси z теоретически должны получить максимум, а практически из-за гравитационной слоистости можем получить—минимум. Когда $j \rightarrow 90^\circ$, то по оси z , в случае гравимагнитной слоистости, направлен минимум скорости, так же как и для гравитационной слоистости. Тогда разница между V_{\perp} гравитационной слоистости и V_{\perp} гравимагнитной слоистости должна быть меньше, чем между максимумом гравимагнитной и максимумом гравитационной слоистости. Эта закономерность экспериментально подтверждается для вулканогенно-осадочных пород (рис. 5).

Как отмечалось, для магматических пород магнитная слоистость параллельна направлению древнего геомагнитного поля, т. е. направ-

ленно намагниченности, и в них отсутствует гравимагнитная слоистость. Следовательно, для магматических пород значение $V_{z,9}$ должно быть близко значению $V_{z,7}$, что также подтверждается экспериментально (рис. 4).

Таким образом, анализ зависимости скорости V_p осадочных пород от азимута древнего геомагнитного поля эпохи образования и корреляция направления намагниченности с направлением максимальной скорости магматических пород показали наличие связи между анизотропией скорости и направлением древнего геомагнитного поля. Дальнейшее детальное исследование этой связи позволит рекомендовать эффективный метод оценки палеомагнитных характеристик среды на основе сейсмоакустических методов, непосредственно в естественном залегании пород, поскольку структурные изменения во времени более маловероятны, чем изменения намагниченности и ее направления.

Наличие в породе палеомагнитной слоистости изменяет также наши представления о сейсмических скоростях в сейсморазведке. Учет палеомагнитной слоистости пород будет способствовать увеличению точности оценки глубины отражающих и преломляющих границ, литолого-стратиграфическому расчленению разреза.

Ереванский госуниверситет

Поступила 11.XII.1987.

Հ. Մ. ԱՎԶԱՆ, Լ. ԳԵՆՏՄԱՆ, Գ. Վ. ՄԱՐԿՈՍՅԱՆ

ԱՌԱՋԳԱԿԱՆ ԱԼԻՔՆԵՐԻ ԱՐԱԳՈՒԹՅԱՆ ԱՆՀԱՄԱՍԵՌՈՒԹՅՈՒՆՆ ԱՊԱՐՆԵՐՈՒՄ

Ա մ փ ո փ ու մ

Հողվածում դիտարկված է ապարներում առաձգական ալիքների տարածման արագության անհամասեռությունը, որը պայմանավորված է ապարների հնամագնիսական շերտայնությամբ: Այդ շերտայնությունը կազմավորվում է Երկրի մագնիսական դաշտի ուղղորդված ազդեցությամբ, ջրային ավազանում ապար առաջացնող մասնիկների նստեցման ժամանակ, ինչպես նաև մագմայի բյուրեղացման ընթացքում ֆերոմագնետիկների մագնիսաստրիկցիայով՝ պայմանավորված նրանց մագնիսացմամբ: Հետմագնիսական շերտայնությունից կախված անհամասեռության տեսական վերլուծության արդյունքները հաստատվում են փորձնական տվյալներով՝ ուսումնասիրելով անհամասեռության կախվածությունը Երկրի հնագույն մագնիսական դաշտի տարրերից՝ ազիմուտից և հակումից: Քանի որ նստվածքային ապարներում հնամագնիսական շերտայնությունը հանդես է գալիս գրավիմագնիսական շերտայնության ձևով, որը Երկրի հնագույն մագնիսական դաշտի ուղղությունն ուղղահայաց է, ապա հորիզոնական հարթությունում առավելագույն արագությունը դիտվում է ալիք շերտերի տարածման ուղղությամբ, իսկ շերտայնությունն ուղղահայաց՝ արագությունը նվազագույնն է:

Փորձնականապես հստակորեն արտահայտվում է կապը տվյալ հարթությունում փոխուղղահայաց ուղղություններով արագությունների հարաբերության և տվյալ հարթության հնագույն մագնիսական դաշտի պայմանական ազիմուտի ուղղության միջև:

THE ELASTIC WAVES VELOCITY ANISOTROPY IN THE ROCKS

A b s t r a c t

The elastic waves velocity anisotropy is considered caused by the rocks paleomagnetic stratification. This stratification is formed under the orientative influence of the geomagnetic field during the sedimentation of particles in the basins, during the magma crystallization and the ferromagnetics magnetostriction in the magnetization process. The anisotropy dependence on the paleomagnetic stratification theoretical analysis results are corroborated by experimental investigations of the velocity anisotropy relation to the ancient geomagnetic field elements, i. e. the azimuth and the inclination. Since the paleomagnetic stratification in sedimentary rocks is revealed as gravimagnetic layers, being perpendicular to the ancient geomagnetic field direction, the maximal velocity in a horizontal plane is fixed in a direction, which is parallel to those layers trend. The velocity is minimal in the perpendicular direction. The velocities ratio dependence, which are obtained from two mutually perpendicular directions on a given plane, on the conditional azimuth of the ancient geomagnetic field on the same plane, is clearly registered experimentally.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Авчян Г. М., Маркосян Г. Г. Прогноз направления разрушения пород.—Изв. АН АрмССР, Науки о Земле, 1987, т. XL, № 1, с. 63—66.
2. Храмов А. Н., Шолто Л. Е. Палеомагнетизм. Принципы, методы и геологические приложения палеомагнетологии. Л.: Недра. 1967. с. 252.

Известия АН АрмССР, Науки о Земле XLI, № 3, 46—55, 1988.

УДК 550.837

А. К. МАТЕВОСЯН

СПОСОБ ИНТЕРПРЕТАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ МЕТОДАМИ СОПРОТИВЛЕНИЙ И ВЫЗВАННОЙ ПОЛЯРИЗАЦИИ

В статье предлагается методика построения диаграмм параметров кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости в зависимости от ориентировки возбуждаемого поля в пункте наблюдений. Рассмотрены параметры первичного и вторичного электрических полей для одного случая анизотропной среды при возбуждении поля многоэлектродной системой питающих заземлений. Предложен способ получения тензоров остаточного кажущегося сопротивления и остаточной кажущейся поляризуемости путем использования усредненных значений соответствующих параметров электрических полей. Даются основные интерпретируемые параметры при работах методами сопротивлений и вызванной поляризации, производится их сопоставление на примере анизотропной среды.

Рассмотрим особенности параметров кажущегося сопротивления (КС) и кажущейся поляризуемости (КП), полученных путем регистрации двух взаимно перпендикулярных составляющих электрических полей при различных направлениях возбуждаемого поля в пункте наблюдений. Для этого воспользуемся ортогональной системой координат