

ISSN 0002-3221

**КЫРГЫЗ РЕСПУБЛИКАСЫНЫН
УЛУТТУК ИЛИМДЕР
АКАДЕМИЯСЫНЫН**

КАБАРЛАРЫ

ИЗВЕСТИЯ

**НАЦИОНАЛЬНОЙ
АКАДЕМИИ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

2011

1

Редакционно-издательская коллегия:

академик *Ш.Ж. Жоробекова* (президент НАН КР) (главный редактор),
академик *В.М. Платских* (вице-президент НАН КР) (зам. гл. редактора),
академик *Д.К. Кудияров* (вице-президент НАН КР),
член-корр. *Т.Т. Омаров* (вице-президент НАН КР),

Редакционный совет:

академик *Ш.Ж. Жоробекова* (президент НАН КР) – председатель,
академик *В.М. Платских* (вице-президент НАН КР) – зам. председателя,
академик *У.А. Асанов*, академик НАН КР *А.А. Айдыргалиев*,
академик *И.Т. Айыматов*, академик НАН КР *Дж. А. Акиматов*,
академик *А.А. Барубаев*, академик НАН КР *А.М. Касиев*,
академик *Т.К. Койчуев*, академик НАН КР *М.Т. Мамасаидов*,
академик *Д.М. Маматканов*, академик НАН КР *Ж.Ш. Ширтемишев*

Секретариат:

член-корр. НАН КР *И.А. Ашимов* (отв. секретарь),
(секретарь)

Журнал основан в 1966 г.

Компьютерная верстка *А. Милдыбаева*
Дизайн обложки – *С.И. Чернобрылев*

Подписано в печать 01.02.11. Формат 60x84 1/8.

Печать офсетная.

Объем 17,25 п.л. Тираж 100 экз.

Издательство “Илим”,
720071, Бишкек, проспект Чуй, 265-а

БАКИРОВ А.Б., МЕЗГИН И.А. Агроруды Кыргызстана и перспективы их использования	47
Кыргызстандагы агрорудаларды келечекте колдонуу Kyrgyzstan agro minerals and the prospects for their use	

СЕЙСМОЛОГИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ПРИРОДНЫХ КАТАСТРОФ

АЙТМАТОВ И.Т., АЛЁШИН Ю.Г., ТОРГОВЕВ И.А. Высокогорные хвостохранилища: концептуальные основы обеспечения безопасности	53
Бийик тоолуу аймактардагы кен байлыктарынын калдыктары сакталуучу жайлар: концептуалдуу камсыздандыруунун концептуалдык негиздери High-mountainous tailings: conceptual bases of maintenance of safety	
НУРМАНБЕТОВ К. Транс-Иссык-Кульский разлом – региональная разрывная структура в системе палеозой Тян-Шаня	63
Транс-Иссык-Кул жаракасы Тян-Шаньдын палеозой системасындагы регионалдык структураларынын бири Trans-Issykkul Fault as a regional disjunctive structure in the Paleozoic system of the Tien Shan	
АКМАТАЛИЕВА М.С. Результаты исследования остаточных напряжений с применением поляризованных поперечных ультразвуковых волн	67
Калдыктуу чыңалууларды поляризацияланган туурасынан таралган ультра үн толкундарын колдонуп изилдөөнүн натыйжалыктары The results of investigation of residual stresses with using polarized transverse ultrasonic waves	
ОРМУКОВ Ч.А., АБДРАХМАТОВ К.Е., БУРГЕТТЕ Р., ВЕЛДОН Р. Деформация террас как отражение геометрии активных разломов Юго-Западного Прииссыккулья	75
Тектирлердин бузулушу – түштүк-батыш Ысык-Көлдөгү активдешкен жарактардын геометриялык натыйжалы катары Deformation of the terraces as a reflection of the geometry of active faults in Southwestern Prisykul	
САНЬКОВА В.П., САКИЕВ К.С., УСУБАЛИЕВА Ж.Ж., ГЕРЖА В.А., МОЛДОГАЗИЕВА Г.Т. Картирование оползневых склонов в бассейне р.Кара-Ункур (Джалал-Абадская область, Кыргызстан)	82
Кара-Ункур суунун алабындагы тоонун капталдарындагы жер көчкүлөрдүү картага түшүрү (Жалалабад облосу, Кыргызстан) Mapping of Landslide Slopes in Kara-Unkur Basin (Jalalabad region, Kyrgyzstan)	

ЭКОЛОГИЯ И ВОСПРОИЗВОДСТВО БИОРЕСУРСОВ

ТОКМЕРГЕНОВ Т.З. Изменение климата и ареалов серого и красного сурьков Тян-Шаня и Алая	88
Климаттык жана Тян-Шань менен Алайдын боз жана кызыл суурларынын ареалынын өзгөрүшү Climate change and modification of areas of the Grey and Red Marmots in Tien-Shan and Alai	
ТОКМЕРГЕНОВ Т.З. Сообщества млекопитающих среднегорий Иссык-Кульской котловины	92
Ысык-Кул ойдуңунун бөксө тоолорундагы сүт эмүүчүлөрдүн биологиялык комплекстиги Community of mammals in mid-mountain territories of the Issyk-Kul Leik	
БОНДАРЦОВА И.П., РОГОВА И.А. Эхинопса пурпурная (<i>Echinacea purpurea</i> Moench) в культуре и медицине	96
Маданияттагы жана медицинадагы көчкүл кызыл эхинопса <i>Echinacea purpurea</i>	

УДК 622.831.32: 624.131.545

Результаты исследования остаточных напряжений с применением поляризованных поперечных ультразвуковых волн

М.С. АКМАТАЛИЕВА – *ищу чн. сотр.*

In plane photo elastic models the change of difference of passage velocities of polarized transverse waves in orthogonal directions from stress is determined experimentally.

Ультразвуковые методы определения свойств структуры анизотропных материалов, в том числе горных пород, отличаются возможностью получения результатов высокой точности и надежностью в малом объеме проб, значительная производительность, низкая стоимость оборудования и трудозатрат. Особо широкими возможностями открывает применение акустополаризационных волн, сопровождающих распространение сдвиговых (поперечных) колебаний [1,2]. Переход горной породы в анизотропное состояние часто происходит под действием палеонапряжений и деформаций в процессе структурно-метаморфической эволюции метаморфических комплексов. Поэтому сравнительный анализ величин констант упругости, коэффициентов анизотропии и других данных позволяет получить сведения о напряженном состоянии пород, которое имело место на самом раннем этапе действия палеонапряжений [2].

В изотропных средах вне зависимости от направления могут распространяться две объемные волны: продольных и сдвиговых (поперечных) колебаний. В волне продольных колебаний направления смещения среды совпадают с направлением ее распространения. В волне сдвиговых колебаний смещение среды происходит в направлении, перпендикулярном распространению волны.

Термин «дихроизм» применяется при описании явления, сопровождающего прохождение света через прозрачные среды. Явление означает способность среды различным образом поглощать луч поляризованного света при повороте его вектора поляризации относительно структурных элементов среды. Аналогичное явление наблюдается при прохождении волны сдвиговых колебаний

через текстурированные среды и, в частности, через некоторые горные породы. Это явление можно назвать «анизотропией линейного поглощения», или «акустическим дихроизмом». Среда, в которой проявляется акустический дихроизм, действует на проходящий луч сдвиговых колебаний как поляризатор. Причем направление «наибольшего» и «наименьшего» пропускания луча в горных породах, как правило, связано с ориентировкой линейных, вытянутых вдоль одного направления кристаллов. Явление акустического дихроизма выдвигается на проявляющиеся при измерениях поляризационные эффекты [2].

В работе В.Н.Бакулина и Г.Д.Памасенко [3] показана принципиальная возможность оценки величины и направления главных напряжений в негидростатически напряженном массиве горных пород по особенностям распространения и нем поляризованных поперечных волн. Различие в скорости разнополяризованных волн в изотропной среде в зависимости от направления действия напряжения можно использовать для вычисления и оценки главных векторов напряжений, действующих в исследуемой среде. Состояние деформированных горных пород в негидростатически напряженном массиве можно охарактеризовать нелинейным законом Гука:

$$\sigma = C^I \varepsilon + C^{II} \varepsilon^2, \quad (1)$$

где σ – тензор напряжений;

ε – тензор деформаций;

C^I – линейный модуль упругости;

C^{II} – нелинейный модуль упругости.

С учетом волнового уравнения для вектора u колебательного смещения частиц уравнения (1) примет вид

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = c^x \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + 2c^y \frac{\partial u}{\partial x} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (2)$$

где ρ – плотность;

Данное уравнение при соответствующем преобразовании имеет три действительных и различных корня. Так, скорость поперечных (физических) волн « v » и деформация « ε » связаны соотношением

$$V = V_0 [1 + (C^y / C^x) \varepsilon]^{1/2}, \quad (3)$$

где $V_0 = \sqrt{C^x / \rho}$.

Отсюда различны поворачиваемые фазы поперечных упругих волн, распространяющихся в негидростатически напряженной среде, отличаются по скорости. Следовательно, зная упругие начальные характеристики и плотности среды (по лабораторным измерениям на образцах) и измеряя скорость ортогонально поляризованных поперечных волн в среде, находящейся под воздействием одностороннего давления, можно не только выявить направление действия сжимающего усилия, но и оценить его. Зависимость фазовой скорости от поляризации вектора смещения поперечной волны в настоящее время установлена как в ультразвуковом, так и сейсмическом диапазонах частот. Результаты ультразвуковых измерений, полученные при азимутальных наблюдениях в образце поликристаллических пород (мельтейгит),

показывают, что нормированный коэффициент прохождения упругой волны β_x , полученный по первым вступениям разнополяризованных волн (в интервале 2π), распространяющихся по одному и тому же пути, относительный коэффициент затухания α , и механическая добротность среды Q , вычислены из соотношений

$$\alpha_x = \frac{\ln[1/\beta_x]}{L} \quad (4)$$

где L – путь, проходимый волной; $\delta = \lambda_x d_x$ – декремент затухания; λ_x – длина волны и скорость V_x в функции угла поляризации вектора смещения поперечной волны могут служить исходными физическими параметрами для определения в исследуемой среде направления действия главных гидростатических напряжений и их оценки.

Нами для исследований остаточных напряжений как фактора механической неоднородности твердых материалов применяются поперечно поляризованные ультразвуковые волны. Для исследований рассматривались две плоские модели, изготовленные из оптически активного материала (отвержденная эпоксианая смола ЭД-6): 1-я модель сплошная, однородная и не имеет выработки (длина 200 мм, ширина 132 мм, толщина 6 мм); 2-я модель имеет по середине выработку арочной формы высотой 44 мм, шириной 39 мм

Модель №1- 0 без остаточных напряжений, без выработки, вдоль ширины

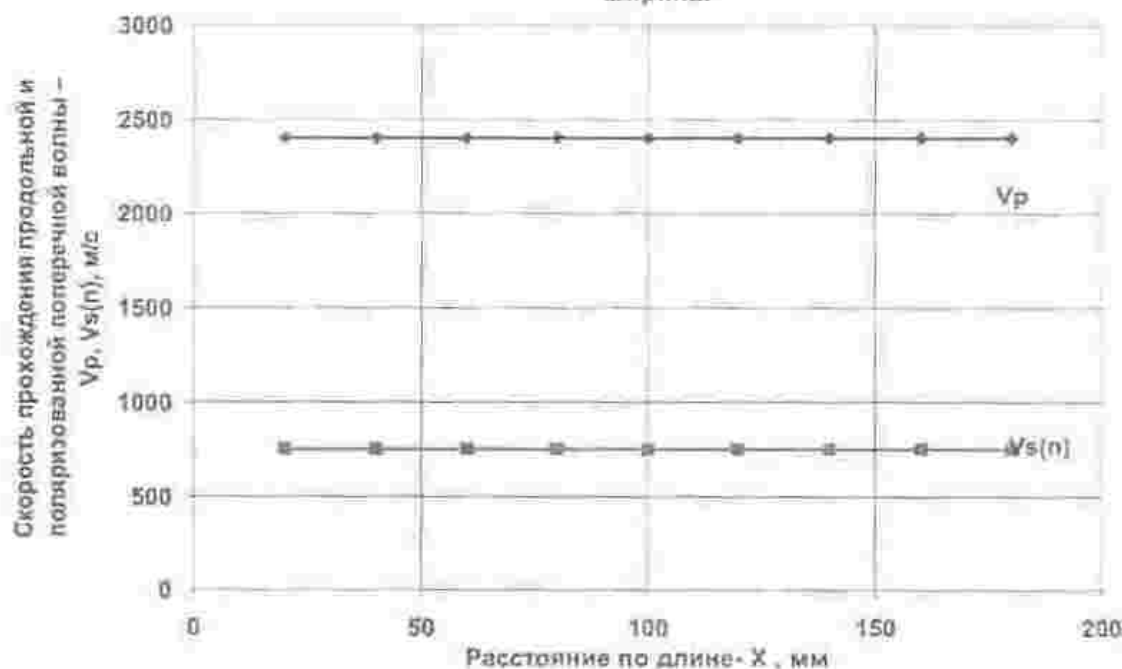


Рис. 1. Графики зависимостей скорости прохождения продольной и поперечной волн.

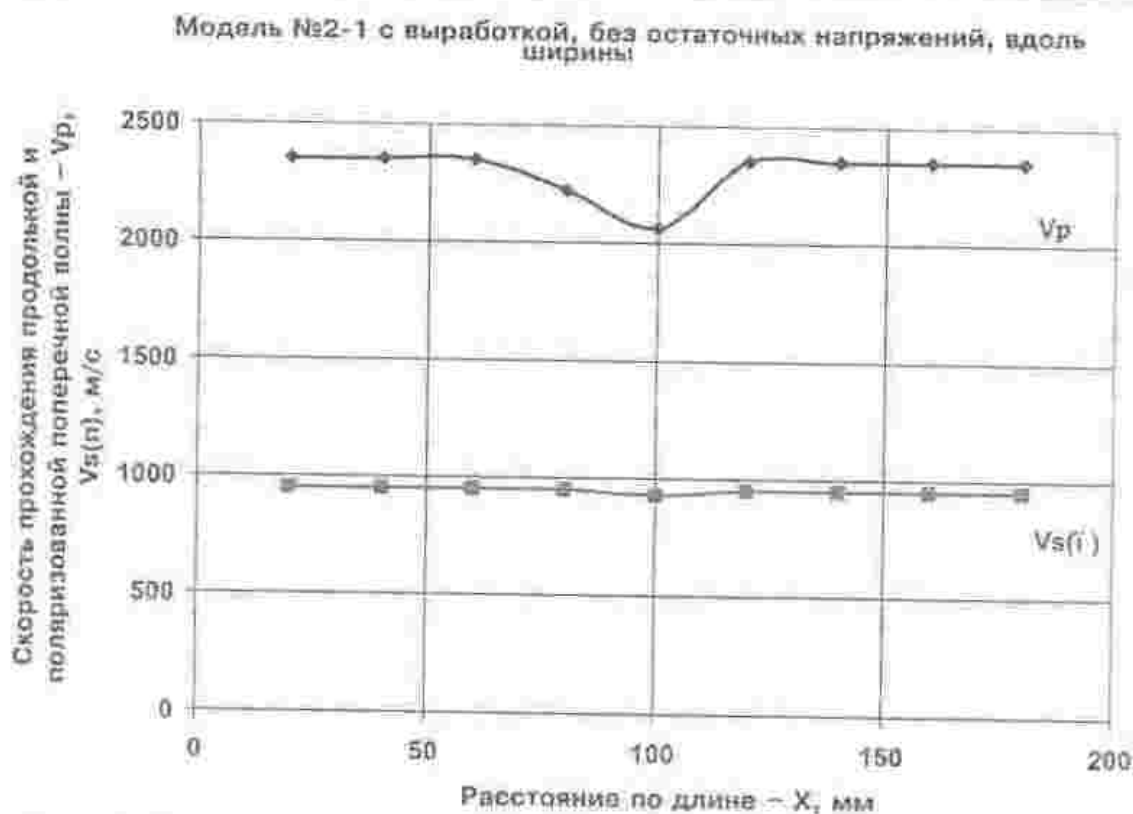


Рис. 2. Графики зависимостей скорости прохождения продольной и поперечной волн.



Рис. 3. Модель №1-0 после 2-й термообработки.

(длина модели 200 мм, ширина 198 мм, толщина 6 мм). На первом этапе исследования путем отжига из всех моделей были выведены остаточные напряжения. Все модели, не имеющие остаточных напряжений, были подвергнуты прозву-

чанию в продольном и поперечном направлениях вдоль длины и ширины модели через 20 мм. При этом определялись скорости прохождения продольной V_p и поперечной волны по каждому направлению и интервалу. При про-



Рис. 4. Модель 2-1 с остаточными напряжениями

Модель №1-0 без выработки, с остаточными напряжениями после 2-й термообработки, вдоль ширины

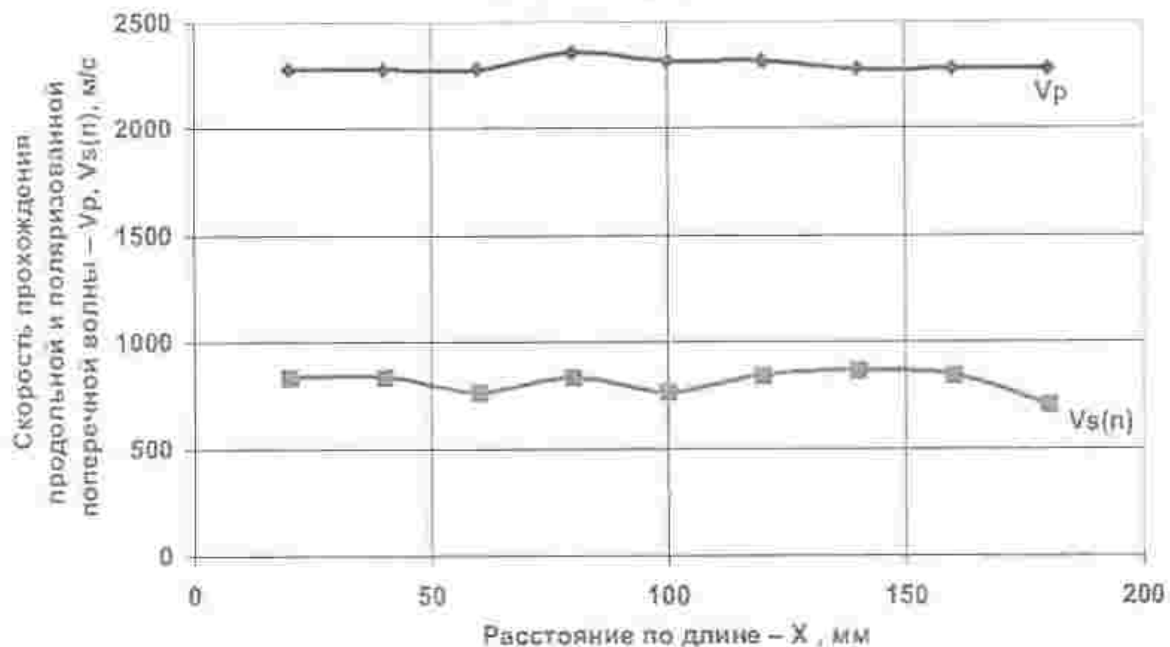


Рис. 5. Графики зависимостей скорости прохождения продольной и поперечной волны.

звучивании поляризованной поперечной волной путем поворота излучателя и приемника устанавливались положения вектора поляризации и измерялись скорости прохождения поляризован-

ной поперечной волны для параллельного $V_s(p)$ и скрещенного $V_s(c)$ состояния преобразователей.

На втором этапе исследований в каждой модели путем термической обработки создавались

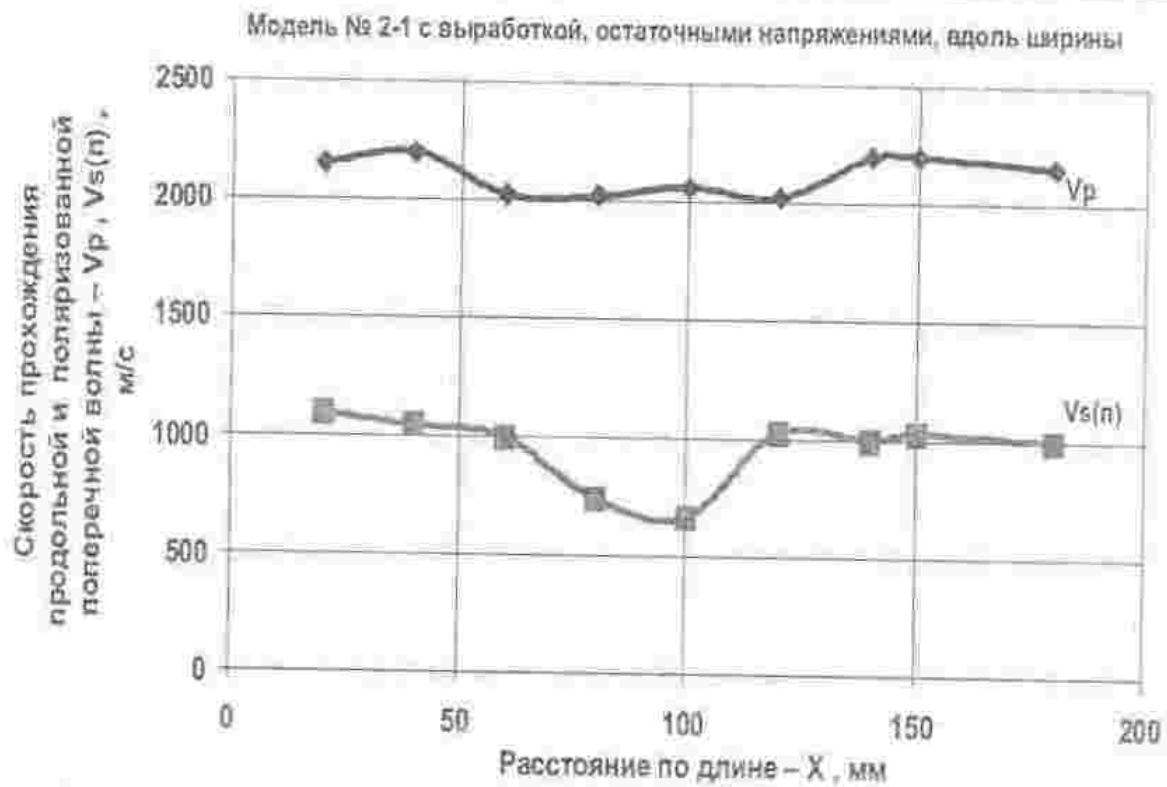


Рис. 6. Графики зависимостей скорости прохождения продольной и поперечной волн. Модель №1-0 без выработки, с остаточными напряжениями после 2-й термобработки, вдоль ширины

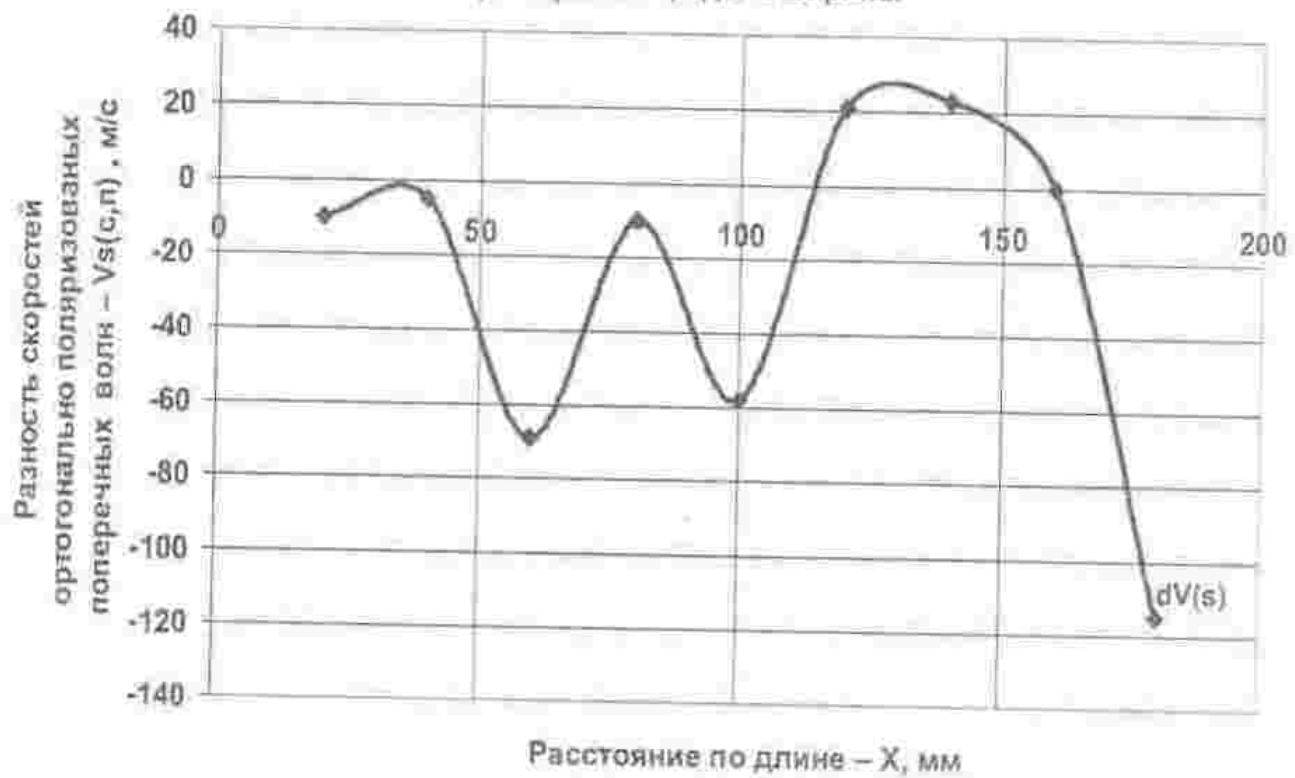


Рис. 7.

Модель №1-0 с остаточными напряжениями без выработки после 2-й термообработки, поперек ширины

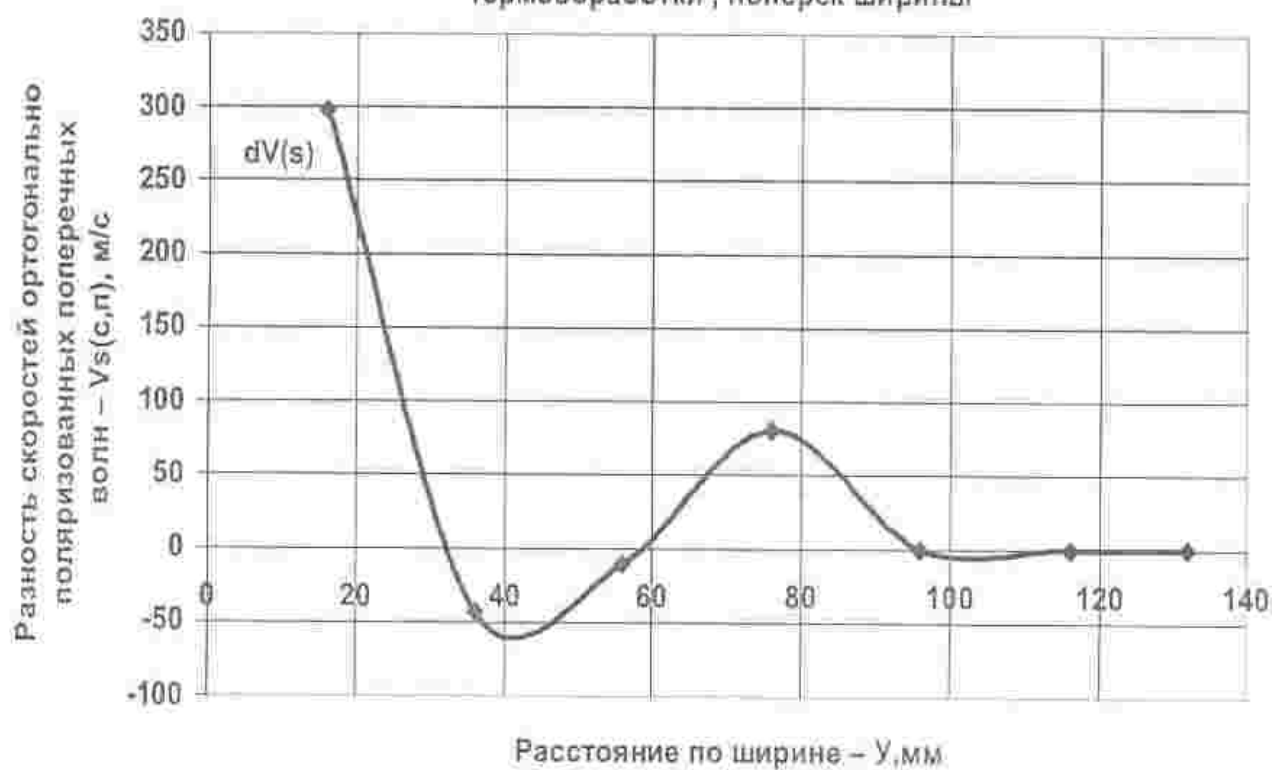


Рис.8.

Модель №2 с остаточными напряжениями и выработкой, вдоль ширины

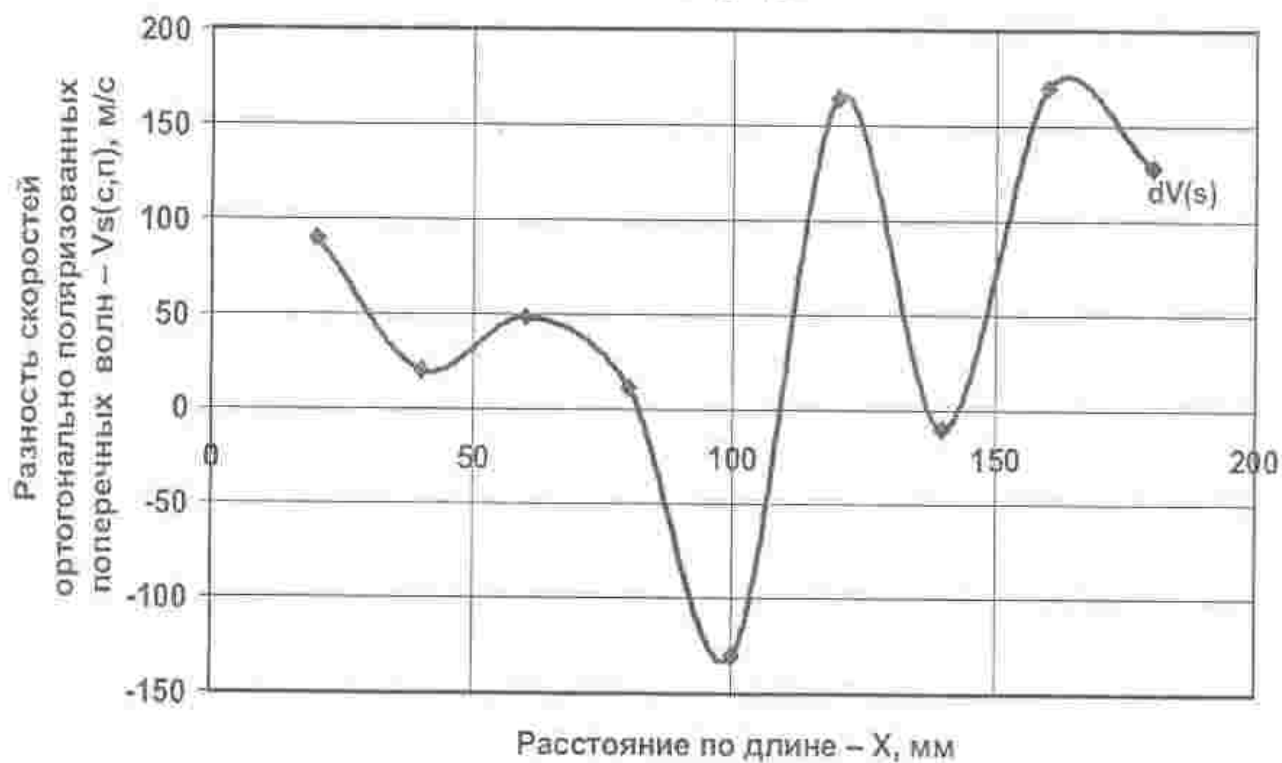


Рис.9.

Модель №2-1 с остаточными напряжениями и выработкой, поперек ширины

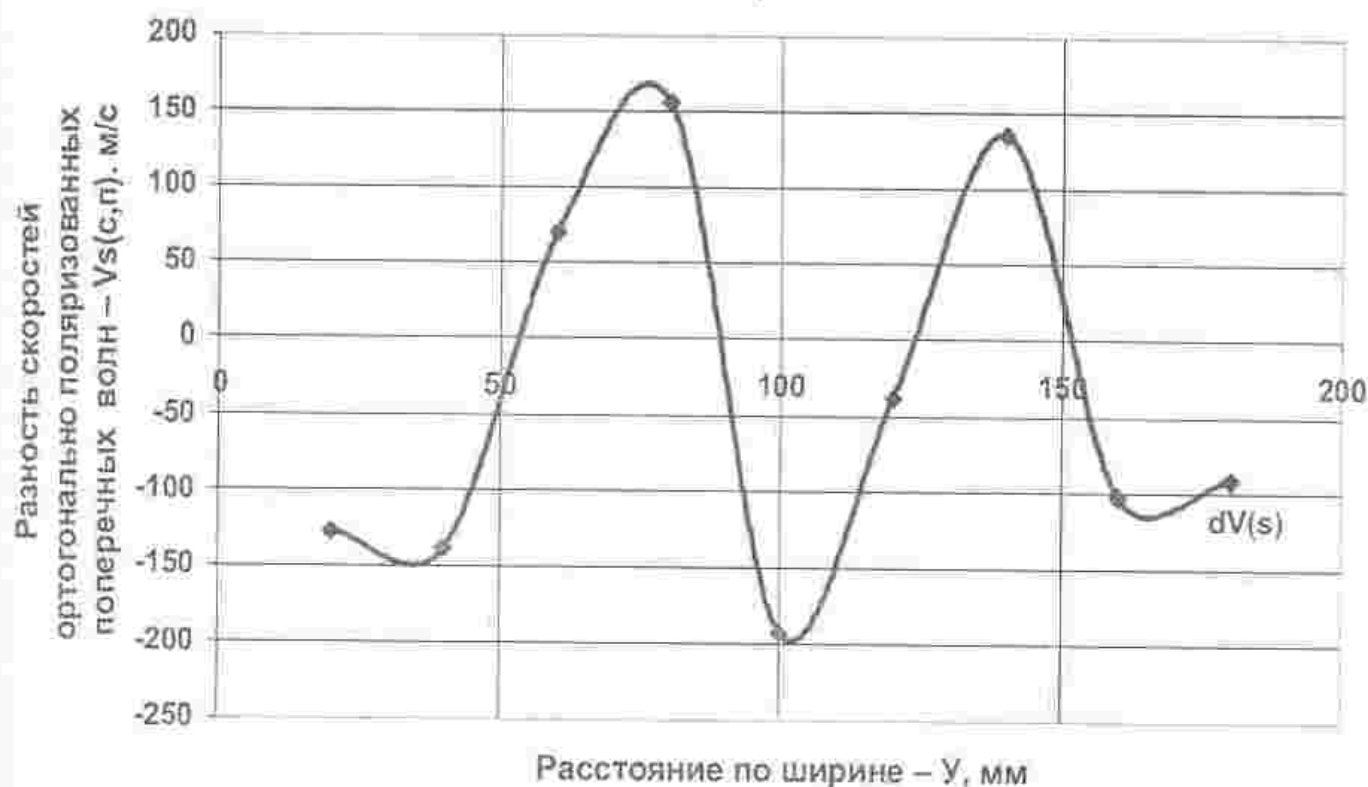


Рис.10

остаточные напряжения, и каждая модель снова по вышеуказанному режиму подвергалась прозвучиванию с определением соответственно скоростей прохождения продольной и поляризованной поперечной волны.

Результаты определения скоростей прохождения волны в моделях, не имеющих остаточных напряжений, приведены на рис. 1 и 2.

На рис. 3 и 4 представлены модели после термической обработки и создания остаточных напряжений.

Как видно из рис. 1 и 2, при отсутствии остаточных напряжений в моделях скорости прохождения продольной и поперечной ультразвуковой волны не изменяются. Изменение скорости прохождения продольной волны на рис.2 связано с наличием выработки в средней части модели № 2-1. Из рис. 5 и 6 видно, что наличие остаточных напряжений приводит к изменениям скоростей прохождения ультразвуковых волн и при этом влияет также и на наличие выработки.

Нами были проведены в основном измерения скоростей прохождения поляризованных поперечных волн. При этом по каждому направлению были измерены скорости ортогонально

поляризованных (вектор поляризации параллельный $V_s(p)$ и скрещенный $V_s(c)$) поперечных волн. Исследования показали, что разность скорости скрещенной и параллельной волны практически не зависит от наличия трещин и выработки, а зависит от остаточных напряжений. Поэтому нами для оценки остаточных напряжений рассматривались изменения указанных разностей во всех рассматриваемых моделях. Результаты этих исследований приведены на рис. 7, 8, 9, 10.

Из рис. 7-10 видно, что в пределах моделей, содержащих в себе остаточные напряжения, в продольном и поперечном направлениях значения разности скорости прохождения «перпендикулярно» поляризованной (скрещенной) поперечной волны – $V_s(c)$ и «параллельно» поляризованной поперечной волны – $V_s(p)$ изменяются существенно и в основном имеют колебательный характер. Например, на рис. 7, 8 изменение разности этих скоростей (обозначим $dV_s(c,p)$) связано только наличием в модели №1-0 неоднородных остаточных напряжений; так как в этой однородной, фотоупругой, прозрачной модели нет никаких трещин и выработки. Поэтому указанную разность мы назвали показателем напряженности – $dV_s(c,p)$, т.е.

$$\Delta V_s(c, n) = V_s(c) - V_s(n)$$

Результаты первого этапа исследований, когда во всех моделях отсутствовали остаточные напряжения, показали, что указанная разность скоростей (показатель напряженности) во всех измерениях (в продольном и поперечном направлениях) равно нулю. Это свидетельствует о том, что разность скоростей ортогонально поляризованных поперечных волн действительно отражает механическую напряженность, в данном случае уровень и знак остаточных напряжений среды.

При наличии в пределах модели выработки (пустоты) и отсутствии остаточных напряжений скорости прохождения параллельно $- V_s(n)$ и перпендикулярно $V_s(c)$ поляризованных поперечных волн одинаково уменьшаются в направлении напротив выработки (пустоты), и поэтому их разность равна нулю, а при наличии остаточных напряжений данная разность изменяется значительно, причем разность может иметь как положительные, так и отрицательные значения. Результаты измерений, представленные на рис. 7-10, хорошо согласуются с результатами исследований остаточных напряжений в этой же модели методом фотоупругости.

Выводы

1. На основе анализа параметров распространения разнополяризованных поперечных ультразвуковых волн в изотропных и квазиизотропных твердых деформируемых средах можно определять направления и величины остаточных напряжений. В неоднородных и анизотропных твердых средах при определении их остаточных напряжений следует учитывать структурные параметры (сложность, кливаж, трещиноватость) экспериментально установленными направляющими коэффициентами.

2. Скорость прохождения продольной ультразвуковой волны более чувствительна к пустотам и трещинам, чем скорость прохождения поляри-

зованных поперечных волн, т.е. в трещиноватых зонах и зоне пустоты (выработки) скорость продольной волны уменьшается значительно, тогда как в этих зонах скорость поперечной волны уменьшается незначительно.

3. На основе результатов измерений скоростей ортогонально поляризованных (вектор поляризации параллельный $V_s(n)$ и скрещенный $V_s(c)$) поперечных волн установлено, что разность скорости скрещенной и параллельной волн по заданному направлению для обеих волн направлению не зависит от наличия в пути трещин и выработки, а зависит от остаточных напряжений.

4. При наличии в пределах модели выработки (пустоты) и отсутствии остаточных напряжений скорости прохождения параллельно $V_s(n)$ и перпендикулярно $- V_s(c)$ поляризованных поперечных волн одинаково уменьшаются в зоне трещин и выработки (пустоты), и по этому их разность равна нулю, а при наличии остаточных напряжений данная разность изменяется значительно, причем при наличии остаточных напряжений разность может иметь как положительные, так и отрицательные значения.

Литература

1. Горбачевич Ф. Ф. Акустополаризация порообразующих минералов в кристаллических породах. Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН, 2002. С. 140.
2. Горбачевич Ф. Ф. Акустополаризационные измерения характеристик анизотропии горных пород. Апатиты: Кольский научный центр РАН, 1985. С. 30.
3. Бижулин В. Н., Панасенко Г. Д. О возможной связи скорости ортогонально поляризованных поперечных волн с напряженным состоянием пород в массиве // Физ. свойства пород в массиве. Новосибирск: СО АН СССР, 1982. С. 29 - 35.