

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/267752734>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН ПРИ ГЛУБИННОМ СЕЙСМИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ В ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

Article · January 1987

CITATIONS

0

READS

9

4 authors, including:



[Victor Sergeevich Seleznev](#)

Геофизическая служба СО РАН, Geophysical Survey SB RAS

275 PUBLICATIONS 271 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Микросейсмология [View project](#)



Structural health monitoring of large dams by changes of natural frequencies [View project](#)

В. С. СЕЛЕЗНЕВ, В. М. СОЛОВЬЕВ,
В. Д. СУВОРОВ, А. Б. КРЕЙНИЦ, В. Ф. УАРОВ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ ВОЛН ПРИ ГЛУБИННОМ СЕЙСМИЧЕСКОМ ЗОНДИРОВАНИИ В ЗАПАДНОЙ ЯКУТИИ

На основе материалов глубинного сейсмического зондирования в Западной Якутии показана возможность выделения и прослеживания поперечных волн от границ кристаллического фундамента и Мохоровичича вертикальными и горизонтальными сейсмоприемниками. Группы поперечных волн $S_{\text{пр}}^{\Phi}$ и $S_{\text{отр}}^{\text{M}}$ разбиваются на группы колебаний $SV_{\text{пр}}^{\Phi}$, $SH_{\text{пр}}^{\Phi}$ и $SV_{\text{отр}}^{\text{M}}$, $SH_{\text{отр}}^{\text{M}}$, разделенных по времени регистрации, что указывает на анизотропное строение земной коры данного региона. Различие кинематических характеристик волн $P_{\text{отр}}^{\text{M}}$, $SV_{\text{отр}}^{\text{M}}$ и $SH_{\text{отр}}^{\text{M}}$ позволяет разбить профиль на четыре отличных друг от друга участка. Практически изотропный участок, для которого отличие времен регистрации $SV_{\text{отр}}^{\text{M}}$ и $SH_{\text{отр}}^{\text{M}}$ не превышает $\pm(0,1-0,15 \text{ с})$, совпадает по местоположению с полем кимберлитового магматизма. По данным преломленных поперечных волн от границы Мохоровичича показано практическое отсутствие анизотропии скоростей вдоль поверхности мантии на исследованном участке.

Перспективы развития сейсмических методов исследований в настоящее время связываются с совместным использованием волн разных типов поляризации [5], что повышает достоверность определения структурных характеристик изучаемой среды и позволяет получить данные о новых физических параметрах разреза. Наряду с исследованием верхней части земной коры, повышенный интерес геологов и геофизиков вызывает изучение глубинных частей земной коры и верхней мантии. Это послужило причиной появления в последние годы ряда работ по регистрации и совместному использованию глубинных волн различной природы [1, 3, 7, 10 и др.].

Опытные-методические работы по изучению поперечных волн в Западной Якутии проводятся с 1981 г. как составная часть исследований методом ГСЗ в этом районе [9]. Здесь на двух 400-километровых профилях, пересекающих поле кимберлитового магматизма в районе г. Мирного, и при площадных наблюдениях, наряду с регистрацией колебаний

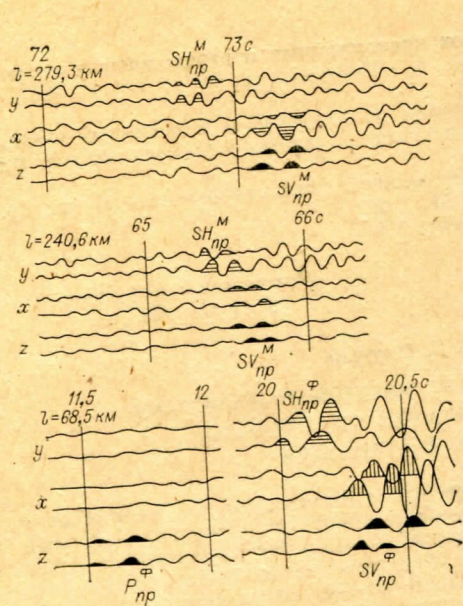


Рис. 1. Примеры записей поперечных преломленных волн от границы М. z — вертикальная компонента колебаний, x и y — радиальная и тангенциальная компоненты.

на z-приборах, получено около 360 трехкомпонентных (x, y, z) записей на удалениях до 300 км от нескольких десятков пунктов взрыва. Трехкомпонентные наблюдения велись как на непрерывных участках профилей протяженностью 1500—4000 м с шагом приборов через 300 м, так и на дифференциальных установках. Каждая из таких установок состояла из двух трехкомпонентных приборов, разнесенных на 300 м. Возбуждение сейсмических колебаний проводилось в неглубоких (1—3 м) водоемах взрывами зарядов тротила (1—5 т), рассредоточенных по площади 2000—5000 м². Сдвиговые волны в этом случае, по всей видимости, возникают за счет близости области взрыва к свободной границе и за счет неоднородности верхней части разреза.

Устойчивому образованию S-волн в источнике, по-видимому, способствовало и то, что в исследуемом районе повсеместно развит слой вечной мерзлоты мощностью в первые сотни метров, кровля которого под водоемами прогнута из-за оттаивания приповерхностных вод. Практически из всех пунктов взрыва получены записи интенсивных поперечных волн. Как правило, в последующей части сейсмограмм можно найти почти для всех регулярных продольных волн аналогичные поперечные колебания SV- и SH-волн, а также обменных волн от неглубоко залегающих границ. По сравнению с продольными волнами S-колебания имеют пониженные видимые частоты и повышенные (иногда на порядок) модули векторов колебаний [8]. Наиболее четко и регулярно выделяются поперечные волны от подошвы (М) и кровли (Ф) консолидированной коры: преломленная волна ($S_{пр}^Ф$) от поверхности фундамента в диапазоне удалений 20—120 км от источника и отражение от границы Моховичича ($S_{отр}^М$) на удалениях 80—160 км. Менее уверенно на удалениях 200—350 км от источника следятся преломленные поперечные волны от границы М ($S_{пр}^М$). Изучение поляризации этих волн показало, что каждая из них разделяется на две группы с почти ортогональными

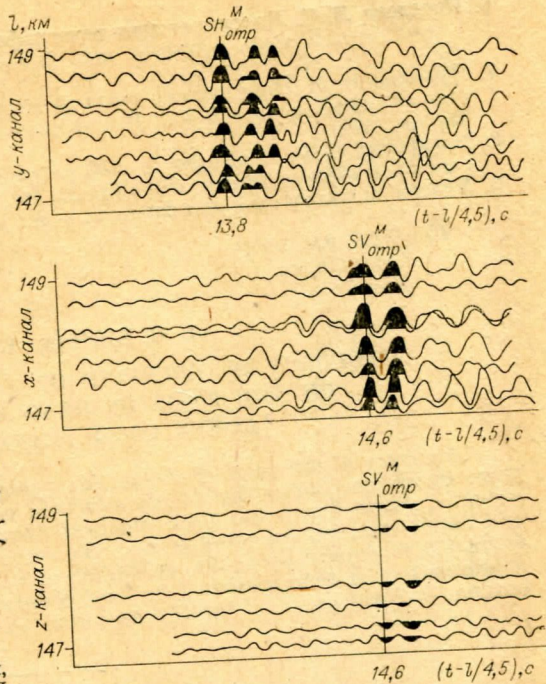


Рис. 2. Пример трехкомпонентных записей отраженной поперечной волны от границы Ф и М в Западной Якутии. z — вертикальная компонента колебаний, x и y — радиальная и тангенциальная компоненты.

направлениями колебаний. Группы, выделяемые на x - и z -приемниках (ось x ориентирована по направлению источник — приемник), в дальнейшем рассматриваются как волны типа SV , а на y -приборах — как волны SH . В соответствии с этим указанным двум опорным сейсмическим границам отвечают поперечные волны разной поляризации: $SV_{\text{пр}}^{\Phi}$, $SH_{\text{пр}}^{\Phi}$, $SV_{\text{пр}}^{\text{M}}$, $SH_{\text{пр}}^{\text{M}}$ и $SV_{\text{отр}}^{\text{M}}$, $SH_{\text{отр}}^{\text{M}}$. Их типичные записи приведены на рис. 1, 2.

Как было указано выше, особенностью x - и y -сейсмограмм на участках с записями поперечных SV - и SH -волн является существенно большей, по сравнению с участками записи продольных волн на z -сейсмограммах, фон конкурирующих волн. В большей степени это относится к записям поперечных SV -волн, которые регистрируются на фоне регулярных продольных и обменных волн.

В работе [11] приводятся примеры синтетических сейсмограмм с записями поперечных волн от заглубленного точечного источника. Источник находится в изотропном полупространстве, на которое наложен низкоскоростной слой. Была выявлена неоднозначность при выделении монотипных S -волн, обусловленная осложняющими запись обменными и кратными волнами, связанными с границами раздела в самой верхней части. Искривленный фронт S -волны, падающей на свободную поверхность при критическом угле ($i_c = \arcsin(V_s/V_p)$, где V_s и V_p — скорости S - и P -волн на поверхности), генерирует головную SP -волну, скользющую вдоль поверхности. Из приведенных расчетов следует, что при больших углах падения головная SP -волна появляется как предшественник прямого S -вступления на свободную поверхность, а ее амплитуда самая большая на радиальной компоненте сейсмограмм. Это, по мнению авторов работы [11], может приводить к ошибочному выделению SV - и SH -волн и к ложному выводу о существовании анизотропии скоростей в среде. Учитывая эти обстоятельства, в настоящей работе мы применяли алгоритмы цифровой обработки, направленные на выделение монотипных поперечных волн. При этом использовались характерные отличия последних от описанных выше обменных и головных SP -волн, состоящие в следующем: фаза головной SP -волны (так же как и обменной SP -волны) не содержит поперечно-горизонтальной компоненты в однородном изотропном полупространстве; вертикальная компонента головной SP -волны обычно мала по сравнению с вертикальной компонентой прямой S -волны [11]; кажущиеся скорости обменных и головных SP -волн больше кажущихся скоростей монотипных SV - и SH -волн. Исследование поляризационных диаграмм направления колебания частиц поперечных SV - и SH -волн показывает, что в рассматриваемых плоскостях xy -, xz -направления колебания частиц в основном близки к линейным. Для устранения описанных выше волн-помех использовались приемы пространственной частотной и скоростной фильтраций записей. Записи на x -, y - и z -сейсмограммах пересчитывали к сферической системе координат и отфильтровывали по азимуту и углу подхода, которые для поперечных волн определялись с использованием данных по соответствующим продольным волнам. Эффективность обработки возрастает при использовании описанного алгоритма совместно с анализом значений кажущейся скорости, определенной на дифференциальных и непрерывных протяженных установках. Кроме того, строились суммотрассы, оценивалось отношение сигнал-помеха, вычислялись амплитудные спектры полезных волн и помех, применялись различные способы фильтрации записей (оптимальная, веерная и др.). Цифровая обработка экспериментальных данных позволила значительно улучшить качество первичного материала и получить некоторые количественные параметры целевых волн (кажущиеся скорости, частотный состав, коэффициенты корреляции и др.).

Рассмотрим поперечные волны от границ Φ и M , залегающих на глубинах 1,6—2 и 40—46 км, и результаты интерпретации кинематических характеристик этих волн.

Преломленные волны $SV_{пр}^{\Phi}$ и $SH_{пр}^{\Phi}$ представлены на сейсмограммах (см. рис. 1) двух-трехфазными колебаниями и по интенсивности сравнимы или превышают колебания волны $P_{пр}^{\Phi}$. Видимые частоты в перечных волн составляют 4—9 Гц. Для продольной волны они равны 7—14 Гц. Максимальные различия времен прихода $SV_{пр}^{\Phi}$ и $SH_{пр}^{\Phi}$ волн для исследуемого участка составляют 0,3 с. Существование двух групп колебаний $SV_{пр}^{\Phi}$ и $SH_{пр}^{\Phi}$, разделенных по времени регистрации указывает на анизотропию упругих свойств верхней части земной коры исследованного участка.

По большой совокупности исходных данных на участке профиля Π $x=50-150$ км определялись граничные скорости [9]. Различия величин скоростей SV - и SH -волн, определенных на малых баз (≈ 20 км), составляют до 0,2 км/с, однако в среднем для всего участка $V_{г,sv}$ и $V_{г,sh}$ равны и значение их $3,65 \pm 0,1$ км/с (для P -волн — $6,3 \pm 0,1$ км/с). Возможные их вариации по площади составляют первые проценты от полной величины скорости и находятся на уровне погрешности определений. Это ограничивает возможности использования параметра граничной скорости S -волн для районирования поверхности фундамента по свойствам слагающих его горных пород, что имело бы большое значение для изучения зон кимберлитового магматизма. Представляется перспективным привлечь для такого районирования параметр разности времен прихода волн $SV_{пр}^{\Phi}$ и $SH_{пр}^{\Phi}$, величина которого значительно изменяется по площади исследованного района. Этот параметр связан с анизотропией скоростей поперечных волн. Он зависит от расположения источника и приемника на местности и от расстояния между ними. В экспериментах рассматриваемая разность времен принимала как положительные, так и отрицательные значения, что указывает на сложное распределение упругих характеристик в осадочном чехле и в до поверхности кристаллического фундамента.

Поперечные волны, отраженные от границы M ($S_{отр}^M$), представляют многофазную группу колебаний (до 6—10 фаз) с одинаковой кажущейся скоростью, примерно в 1,7 раза меньшей, чем у соответствующей продольной отраженной волны $P_{отр}^M$ на той же сейсмограмме. В дальнейшей части сейсмограммы они являются доминирующими по амплитуде, что облегчает их надежное выделение и позволяет провести уверенную корреляцию. Отношение видимых частот рассматриваемых продольных и поперечных волн составляет 1,1—1,8. Времена регистрации $SV_{отр}^M$ и $SH_{отр}^M$ -волн в ряде случаев различаются значительно — до 0,8 с, что превышает длительность колебаний каждой из них (см. рис. 2). Существование разнополяризованных колебаний $SV_{отр}^M$ и $SH_{отр}^M$, выделенных на одних и тех же сейсмограммах и разделенных по времени регистрации, свидетельствует об анизотропии упругих свойств толщи верхней земной коры на участке исследований. Различие времени этих волн отражает суммарный эффект анизотропии скоростей для сейсмических волн, проходящих в большей (100—200 км) протяженности, пронизывающих всю земную кору. Поэтому большая разность времен может возникнуть и в относительно небольшой степени анизотропии свойств среды.

Для приближенной оценки анизотропии упругих свойств земной коры было использовано 40 сейсмограмм, на каждой из которых надежно выделены три отраженные от границы M волны — $P_{отр}^M$, $SV_{отр}^M$ и $SH_{отр}^M$. Эти записи получены на расстояниях $l=80-160$ км от источников профиля Π , пересекающему кимберлитовое поле в районе г. Мирный и выходящему за его пределы [9]. Центры (x) интервалов источников и приемник относительно равномерно распределены на участке профиля протяженностью более 200 км.

Сводные годографы каждой из трех волн, построенные по всей совокупности данных, имеют большой разброс экспериментальных зна

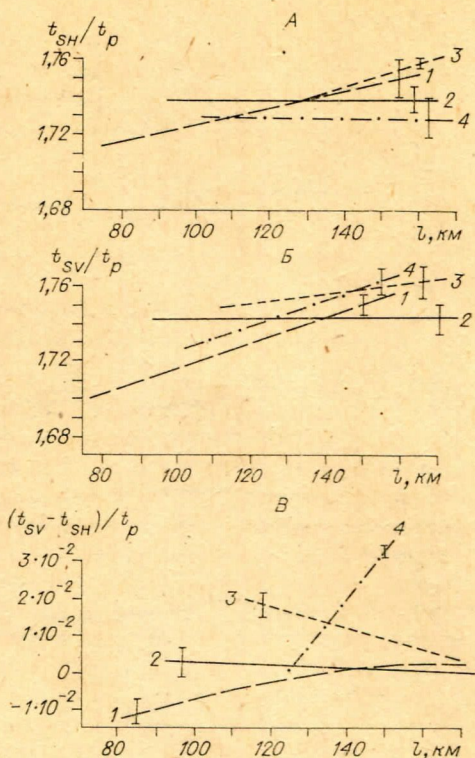
Рис. 3. Кинематические характеристики отраженных волн разной поляризации от границы М на профиле II.

Кривые 1, 2, 3, 4 относятся к разным участкам профиля. Участок 2 совпадает с кимберлитовым полем. Вертикальные отрезки показывают среднеквадратическую погрешность построения каждой кривой.

ний времен. Достаточно регулярные, близкие к линейным зависимости времени от расстояния до источников получаются при группировке экспериментальных данных по участкам профиля, в которые попадают центры соответствующих интервалов источник — приемник. При такой группировке выделяются четыре участка профиля с граничными значениями горизонтальной координаты x , равными 25, 125, 205, 245, 315 км. Второй участок ($x = 125 \div 205$ км) совпадает по местоположению с полем кимберлитового магматизма.

Различие выделенных участков по некоторым безразмерным кинематическим характеристикам видно на рис. 3. Второй участок отличается постоянством отношения времен поперечных и продольных отраженных волн (см. рис. 3, А, В), которое составляет 1,74—1,75 для всего диапазона расстояний l . Для других участков это отношение увеличивается с ростом l .

Обратимся к отношению $(t_{sv} - t_{sh})/t_p$ для рассматриваемых отраженных волн (рис. 3, В). В случае изотропной среды оно должно равняться нулю при любых l — колебания SV и SH не разделены во времени. Такими свойствами обладает второй участок профиля. Разность времен разнополяризованных поперечных волн здесь не превышает $\pm 0,15$ с. Участки 1 ($x = 25-125$ км) и 3 ($x = 205-245$ км) обладают заметной анизотропией — различия времен отраженных волн SV и SH достигают $-0,4$ с в первом случае и $+0,4$ с во втором. Существенно, что графики зависимости рассматриваемой величины от расстояния наклонены в противоположные стороны. Это указывает на различный характер анизотропии на участках 1 и 3. Участок 4 ($x = 245-315$ км) характеризуется самой сильной анизотропией. Здесь различие времен волн SV и SH достигает 0,8 с на расстоянии около 150 км и резко уменьшается почти до нуля при $l = 125$ км. Для каждой из выделенных волн $P_{отр}^M$, $SV_{отр}^M$ и $SH_{отр}^M$ были построены временные поля $t^2(x, l^2)$ и способами, известными в методике дифференциальных зондирований [4], определены эффективные скорости во всей толще земной коры. Скорости волн P и SH для всего профиля получились равными $6,5 \pm 0,1$ и $3,73 \pm 0,05$ км/с соответственно. Для волны SV: $3,73 \pm 0,05$ км/с для участка $x = 25-245$ км и $3,6 \pm 0,1$ км/с для $x = 245-315$ км. С использованием эффективных скоростей SV- и P-волн в предположении однородной изотропной среды были рассчитаны глубины до отражающей границы М. На втором участке, включающем в себя кимберлитовое поле, глубины по P- и SV-волнам совпали. На остальной (анизотропной) части профиля глубины, полученные по поперечным волнам, оказались меньшими, чем по продольным волнам, на 2—2,5 км для участков 1 и 3 и на 5 км для участка 4. Эти данные, наряду с результатами известной работы [2], наглядно по-



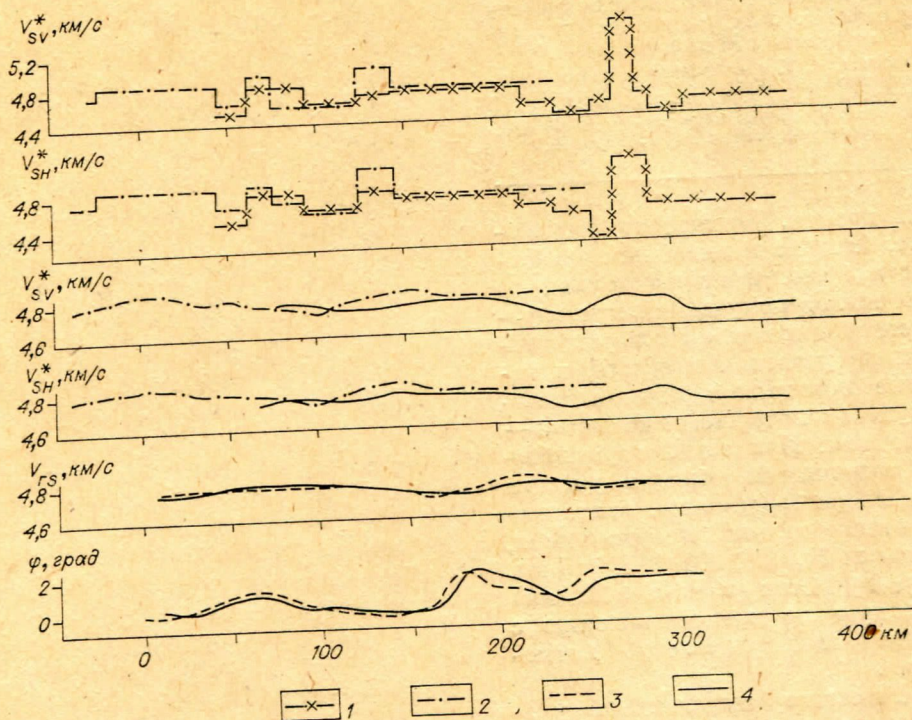


Рис. 4. Результаты интерпретации преломленных поперечных волн (SV и SH) от границы M на профиле II.
 1, 2 — значения кажущихся и осредненных значений кажущихся скоростей SV - и SH -волн (в км/с) в прямом и встречном направлениях соответственно; 3, 4 — значения граничных скоростей (в км/с) и углов наклона φ (в град.) для SV - и SH -волн соответственно.

казывают необходимость учета эффекта анизотропии скоростей при структурных построениях.

Выделение поперечных преломленных волн от границы M ($S_{пр}^M$) сопряжено с некоторыми трудностями, поскольку волны $S_{пр}^M$ не являются доминирующими в дальней части сейсмограммы, как это характерно для волн $S_{отр}^M$. Их выделение, как правило, основывается на нахождении первых осей синфазности, имеющих пониженные \sim в 1,7 раза по сравнению с продольной преломленной волной $P_{пр}^M$ кажущиеся скорости в области сейсмограммы перед поперечной отраженной волной. Кроме кажущихся скоростей использовался признак подобия волновых картин по P - и S -волнам. Обработывалось ~ 30 сейсмограмм с записями $S_{пр}^M$ (см. рис. 1), полученных при трехкомпонентной регистрации на профиле II, и ~ 15 сейсмограмм при регистрации колебаний на z-приборах на профиле I [8, 9]. Волны $SV_{пр}^M$ и $SH_{пр}^M$ представлены на сейсмограммах двух-трехфазными колебаниями с интенсивностью, превышающей интенсивность волны $P_{пр}^M$ в первых вступлениях. Видимые частоты $SV_{пр}^M$ и $SH_{пр}^M$ 6—10 Гц, для волны $P_{пр}^M$ они равны 7—12 Гц. Максимальные различия времен регистрации $SV_{пр}^M$ и $SH_{пр}^M$ (Δt_{SV-SH}) составляют 0,25—0,35 с. Поскольку, как было указано выше, земная кора данного района анизотропна, связывать различия во временах регистрации $SV_{пр}^M$ и $SH_{пр}^M$ только с анизотропией верхней части мантии нельзя. Для выяснения строения верхней мантии использовались следующие способы, подробно описанные в работах [4, 6]. Отдельно для волн $SV_{пр}^M$ и $SH_{пр}^M$ были построены графики зависимостей кажущихся скоростей в прямом и встречном направлениях ($\vec{V}(x)$ и $\vec{V}(x)$) (рис. 4). После осреднения методом скользящего окна (интервал осреднения со-

ставлял 50 км, шаг осреднения 10 км) были определены скорости поперечных волн $V_{Г,sv}$ и $V_{Г,sh}$ и углы наклона границы $\varphi_{sv}(x)$ и $\varphi_{sh}(x)$ по формулам

$$|\varphi(x)| = \arccos A(x), \quad V_{Г}(x) = A(x)/\eta(x),$$

где

$$A^2(x) = \{1 + \bar{V}^2(x) \cdot \eta^2(x) - \bar{V}^2(x) \xi^2(x)/4 + \\ + [(1 + \bar{V}^2(x) \eta^2(x) - \bar{V}^2(x) \xi^2(x)/4 - 4\bar{V}^2(x) \eta^2(x))^{-1/2}]/2,$$

$$\eta(x) = 1/\bar{V}(x+60) + 1/\bar{V}(x-60),$$

$$\xi = 1/\bar{V}(x+60) - 1/\bar{V}(x-60).$$

Здесь $\bar{V}(x)$ — средняя скорость, $\vec{V}(x)$ и $\tilde{V}(x)$ — кажущиеся скорости в прямом и обратном направлениях, $\eta(x)$ и $\xi(x)$ — вертикальная и горизонтальная составляющие градиента поля времен. Угол φ положителен по падению границы. Знак при угле φ соответствует знаку при ξ . Величина x измерена в километрах.

Использование такого способа определения граничных скоростей и углов наклона границы равносильно определению этих параметров по пересчитанному к абсциссе начальной точки ($l_{нт}$) полю времен преломленной волны $t(x, l)$ или по способу определения граничных скоростей по полям времен Ризниченко. Для данного района $l_{нт} \approx 120$ и, соответственно, при определении параметров $V_{Г,sv}(x)$, $V_{Г,sh}(x)$, $\varphi_{sv}(x)$ и $\varphi_{sh}(x)$ использовались кажущиеся скорости, определенные при $l \approx l_{нт}$. Отметим также, что при небольших углах наклона (в нашем случае они меньше 3°) ошибки в значении средней скорости* несущественно влияют на определение значений граничной скорости. Значения граничных скоростей поперечных SV- и SH-волн представлены на рис. 4. База определения граничных скоростей примерно соответствует интервалу осреднения кажущихся скоростей и равна 50 км. Из рисунка видно, что отличие $V_{Г,sv}(x)$ от $V_{Г,sh}(x)$ незначительно, что указывает на отсутствие заметной анизотропии скоростей на поверхности мантии.

Из-за редкой системы наблюдений (~ 30 наблюдений на участке профиля в 400 км) к полученным значениям скоростей поперечных волн следует относиться как к интегральным, характеризующим достаточно протяженные участки исследуемой границы М. В целом значения скоростей поперечных волн $SV_{пр}^M$ и $SH_{пр}^M$ совпадают и составляют $4,75 \pm 0,1$ км/с (см. рис. 4). Для участка $x = 50-145$ км заметно некоторое увеличение (до 4,8 км/с) скоростей вдоль поверхности Мохоровичича. Наблюдается восстание границы М с северо-востока на юго-запад (среднее значение $\varphi = 1^\circ$). Максимальные значения углов наклона составляют 2° и характерны для участка $x = 175-205$ км профиля II (см. рис. 4).

Принимая во внимание, что по данному профилю построен достаточно детальный разрез по P-волнам [9] и проведено разбиение на блоки, а также то, что граничные скорости, определенные по волнам $SV_{пр}^M$ и $SH_{пр}^M$, практически совпадают, можно предложить второй вариант интерпретации данных преломленных S-волн. Закрепим границы блоков и определим в них граничные скорости, привлекая дополнительно времена волн $S_{отр}^M$, полученных в области начальных точек (что позволяет расширить участок определения кажущихся скоростей), и зная рельеф границы по P-волнам, а также граничные скорости под юго-западными пунктами взрыва.

Этот вариант интерпретаций представлен ниже. Здесь x — значения горизонтальных координат, V_P , V_S — средние значения скоростей P- и S-волн, $\sigma = (V_P^2 - 2V_S^2)/2(V_P^2 - V_S^2)$ — значения коэффициентов Пуассона.

* При построениях принимали, что средняя скорость равна эффективной.

x , км	V_P , км/с	V_S , км/с	σ
до 75	8,10	4,70	0,246
75—150	8,70	4,80	0,281
150—275	8,15	4,70	0,251

Представленные варианты интерпретации не являются взаимоисключающими. В целом они совпадают.

Второй вариант дает осредненные на больших, чем первый, базах значения параметров разреза, и в нем полнее учтены имеющиеся геолого-геофизические сведения о блоковости земной коры и верхней мантии.

Заключение

Проведенные исследования с использованием взрывов в естественных водоемах показали возможность достаточно систематического и устойчивого возбуждения поперечных SV - и SH -волн, зарегистрированных вертикальными и горизонтальными сейсмоприемниками на разобобщенных установках, что расширяет возможности применяемой методики точечных (дифференциальных) сейсмических зондирований.

Наиболее четко и регулярно в диапазоне удалений 20—120 км от источника следятся поперечные преломленные волны от поверхности фундамента и на удалениях 80—160 км — отраженные от границы М. Менее уверенно на удалениях 200—350 км от источника следятся преломленные поперечные волны от границы М. Установлен факт наличия анизотропии упругих свойств земной коры исследуемого региона и практическое отсутствие анизотропии в верхах мантии.

Граничные скорости поперечных волн для поверхности фундамента составляют $3,65 \pm 0,10$ км/с, для поверхности мантии — $4,75 \pm 0,1$ км/с. Эффективные скорости во всей толще земной коры по данным SH -волн — $3,73 \pm 0,05$ км/с, по данным SV -волн они составляют $3,73 \pm 0,05$ км/с для участка $x = 25—245$ км и $3,6 \pm 0,10$ км/с для $x = 275—315$ км профиля II. Совместный анализ разнополяризованных отраженных волн от границы М позволил провести разбиение профиля на участки с различающимися кинематическими характеристиками этих волн, что позволяет продвинуться вперед при решении задачи о возможной связи сейсмических аномалий с полями развития кимберлитового магматизма.

Авторы выражают признательность С. В. Крылову и И. Р. Оболенцевой за консультации и полезные замечания.