



ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗАБАЙКАЛЬСКОГО УЧАСТКА ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКОГО СКЛАДЧАТОГО ПОЯСА ПО ДАННЫМ ГСЗ (В СТВОРЕ ОПОРНОГО ПРОФИЛЯ 1-СБ)

В. М. Соловьев¹, В. С. Селезнев², А. С. Сальников³, А. В. Лисейкин⁴, И. Е. Романенко¹,
С. А. Елагин¹, А. Е. Шенмайер¹, Н. А. Сержников¹

¹АСФ ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Новосибирск, Россия; ²ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Новосибирск, Россия; ³Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия; ⁴Сейсмологический филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Новосибирск, Россия

Представлены материалы глубинных сейсмических исследований на опорном геофизическом профиле 1-СБ в Забайкалье. Показано, что от взрывов и мощных вибрационных источников зарегистрированы продольные и поперечные волны от опорных границ в земной коре и поверхности Мохоровичича. Установлены высокие значения скорости продольных волн по границе Мохоровичича при небольшой мощности коры, а также чрезвычайно неоднородная верхняя кора по данным продольных и поперечных волн. По данным разнополяризованных поперечных SV- и SH-волн от границ в земной коре и поверхности Мохоровичича установлена анизотропия земной коры.

Ключевые слова: профиль ГСЗ, продольные и поперечные волны, скорости P- и S-волн, глубинный сейсмический разрез, анизотропия земной коры.

DEEP STRUCTURE OF THE ZABAIKALSKY PORTION OF THE CENTRAL-ASIAN FOLDED BELT FROM DEEP SEISMIC SOUNDING (1-SB SURVEY BASE LINE)

V. M. Solovyev¹, V. S. Seleznev², A. S. Salnikov³, A. V. Liseykin⁴, I. E. Romanenko¹,
S. A. Elagin¹, A. E. Shenmayer¹, N. A. Serezhnikov¹

¹Altai-Sayan Branch of Geophysical Service of RAS Federal Research Centre, Novosibirsk, Russia; ²Geophysical Service of RAS Federal Research Centre, Novosibirsk, Russia; ³Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia; ⁴Seismological Branch of Geophysical Service of RAS Federal Research Centre, Novosibirsk, Russia

The paper contains materials of deep seismic survey along 1-SB Survey Base Line in the Trans-Baikal region. P- and S-waves, registered from key reflectors in the Earth's crust and the Moho surface, were induced by explosions and high-energy vibration sources. High P-wave velocities along the Moho surface at shallow crust were recorded, as well as a highly irregular upper crust as from P- and S-wave data. The Earth's crust anisotropy was identified by heteropolarised SV- and SH-waves from the reflectors in the Earth's crust and the Moho surface.

Keywords: deep seismic sounding section, P- and S-waves, velocities of P- and S-waves, deep seismic section, the Earth's crust anisotropy.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-4-91-103

Восточное Забайкалье относится к интенсивно развивающимся регионам с высоким промышленным потенциалом. Повышенный интерес к его масштабному освоению на современном этапе стимулируется энергетической стратегией правительства России и вводом в эксплуатацию магистрального трубопровода для экспортных поставок нефти в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. В структурно-тектоническом плане Восточное Забайкалье включает структуры Монголо-Забайкальской складчатой системы, Селенга-Становой и Забайкальской складчатых областей (рис. 1, б); это регион с высокой сейсмичностью, особенно северные районы территории, в том числе северо-восточная часть высокосейсмичной Байкальской рифтовой зоны [6, 9].

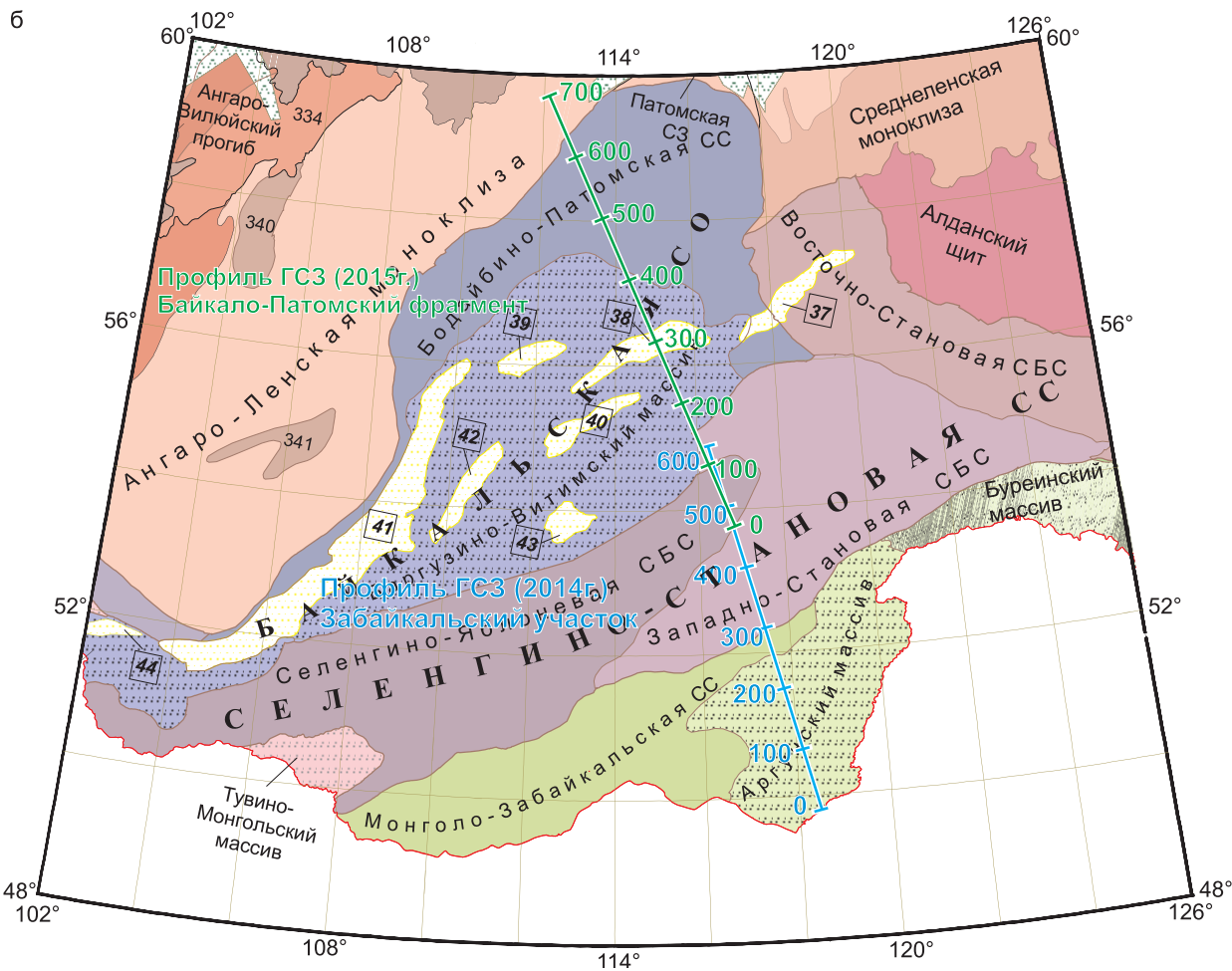
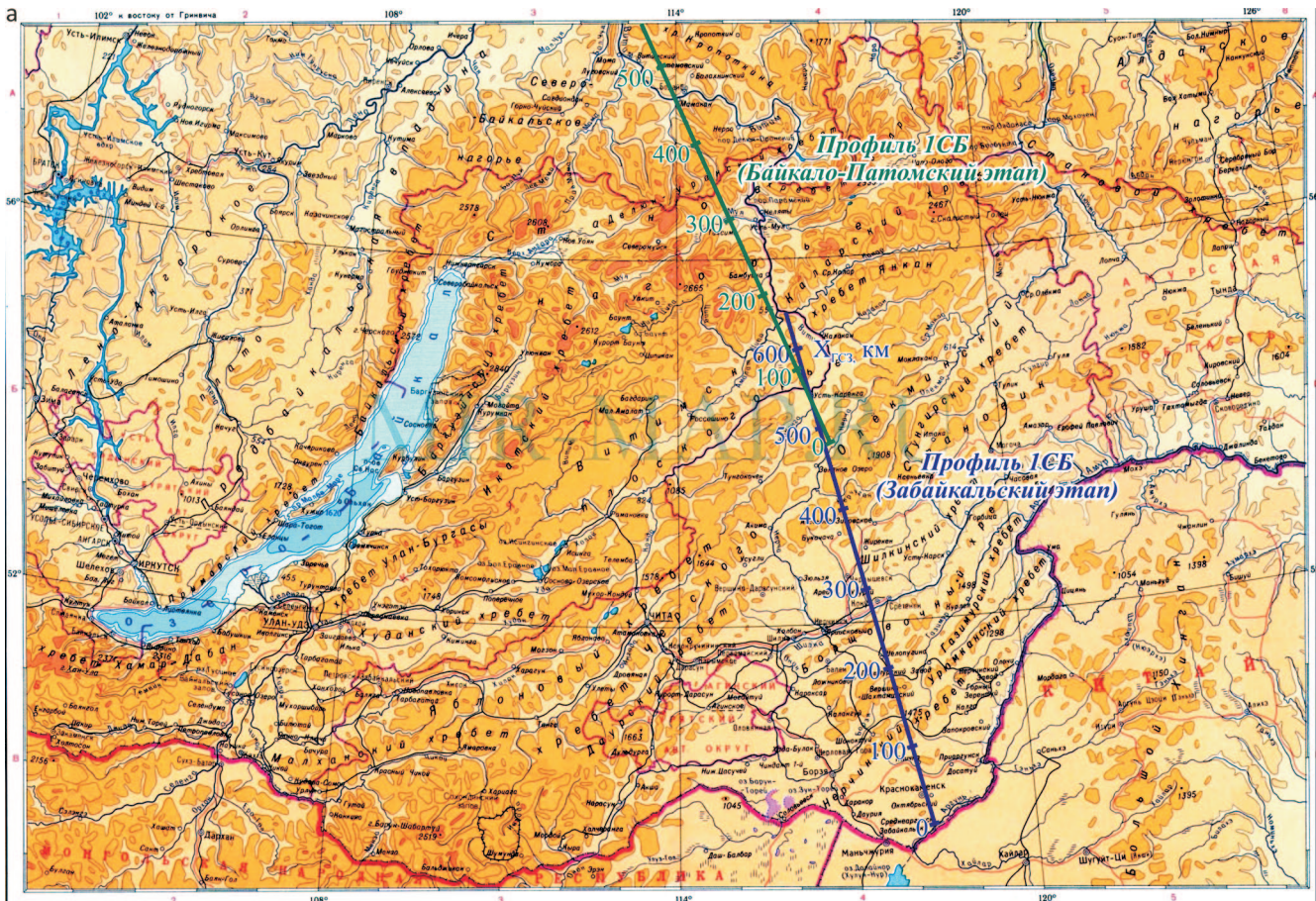
С 2014 г. Роснедра выполняет здесь комплексные геолого-геофизические работы на опорном геолого-геофизическом профиле 1-СБ (Восточный участок) (см. рис. 1, а, б): исследования методами ОГТ, КМПВ, ГСЗ, МТЗ и др., направленные на изучение крупных металлогенических провинций Восточного

Забайкалья и системное обновление фундаментальной геолого-геофизической информации о строении и динамике недр [3].

Приведем информацию о методике, технике и результатах глубинных сейсмических исследований (ГСЗ) в южной части профиля 1-СБ (Восточный участок, забайкальский этап), реализованных в 2014 г. (см. рис. 1).

Методика работ

Работы ГСЗ на профиле выполнялись по методике точечных дифференциальных сейсмических зондирований [6, 7]. Реализована плотная система наблюдений (см. рис. 1, в) со средними расстояниями между источниками (взрывы массой 3–6 т, мощные вибраторы) 15–30 км, между регистрирующими станциями (РОСА, Байкал) – 4–5 км с группами вертикальных приборов СВ-5 и Sersel SG-5 и 20 км – с трехкомпонентными приборами GS-20DX. Дальность регистрации на ряде участков достигала 400–500 км (рис. 2, см. рис. 1, в). На про-



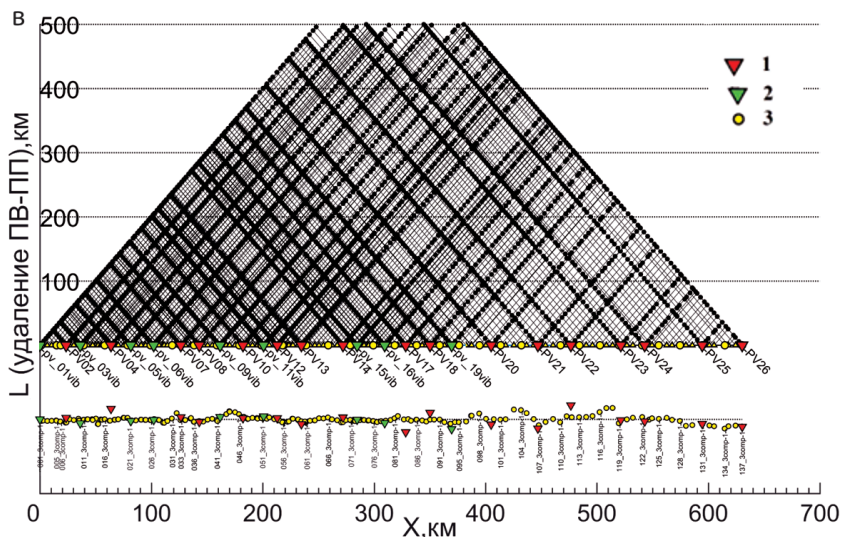


Рис. 1. Характеристика исследований на профиле 1-СБ (Восточный участок, забайкальский этап): физико-географическое положение (а) и схема геолого-структурного районирования территории России (б) по [1], реализованная система сейсмических наблюдений методом ГСЗ (в)

Места отработки источников возбуждения: 1 – взрывных, 2 – вибрационных; 3 – точки установки регистрирующих станций

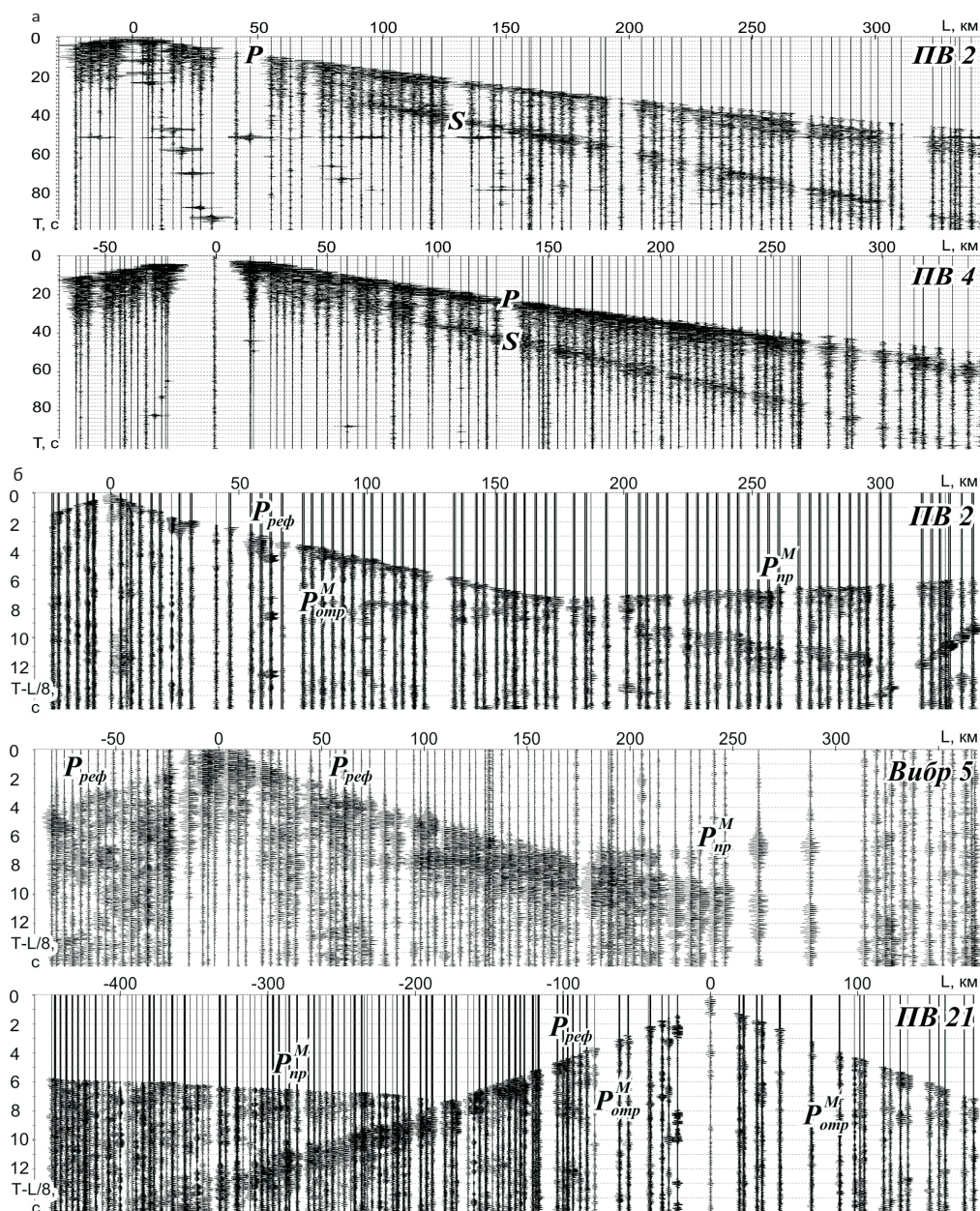
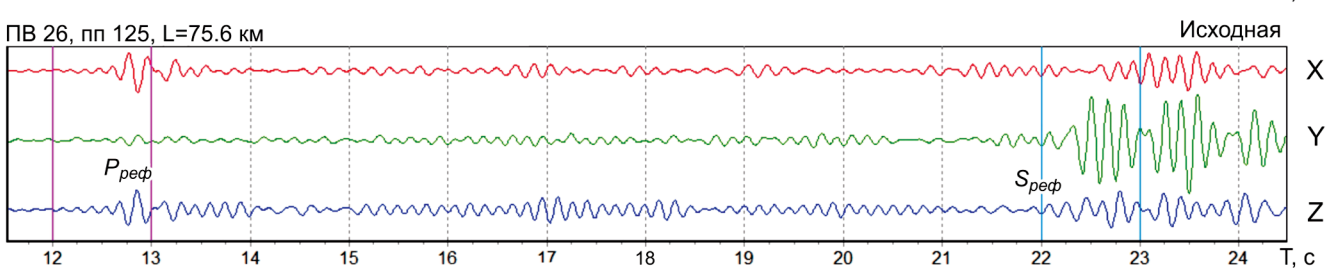
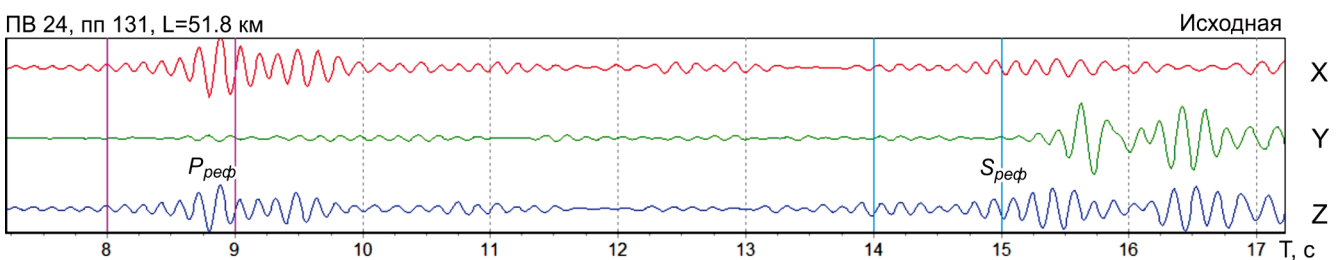
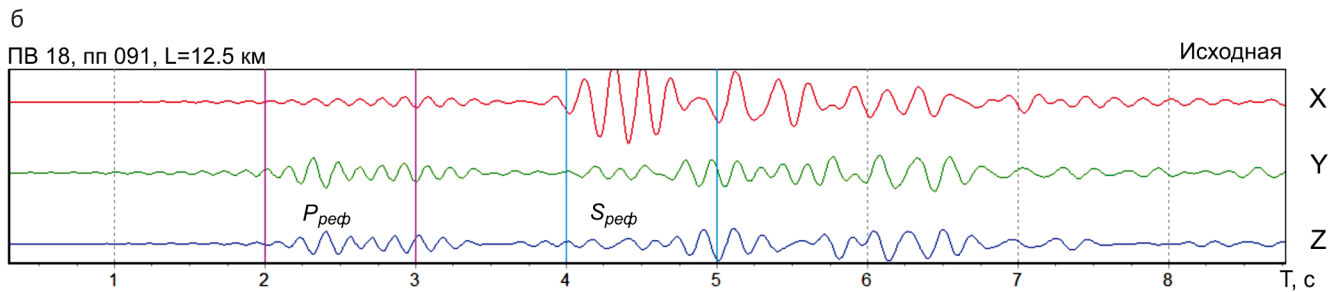
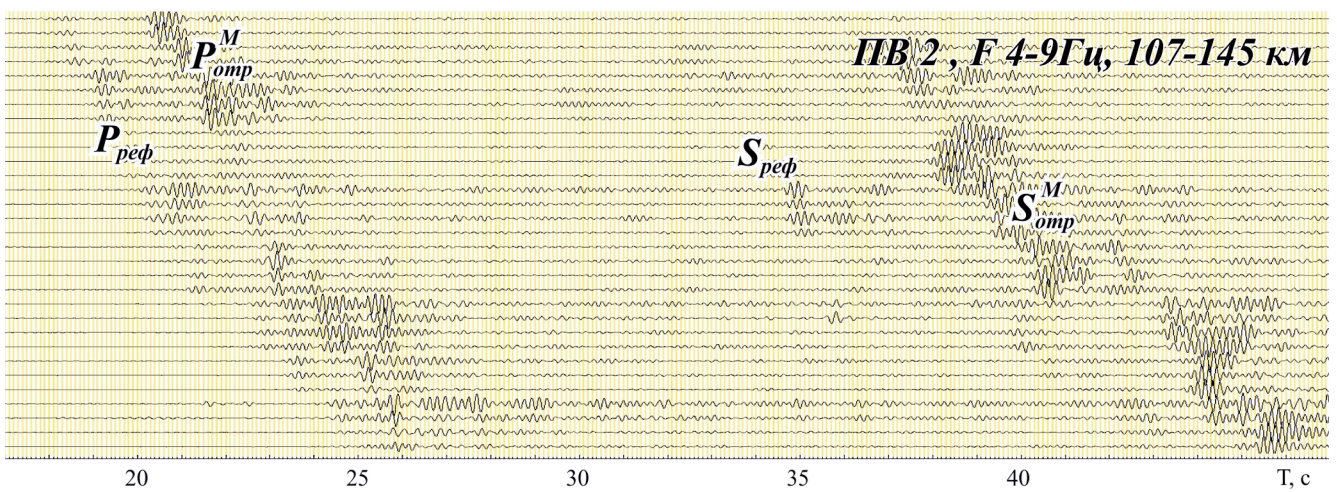
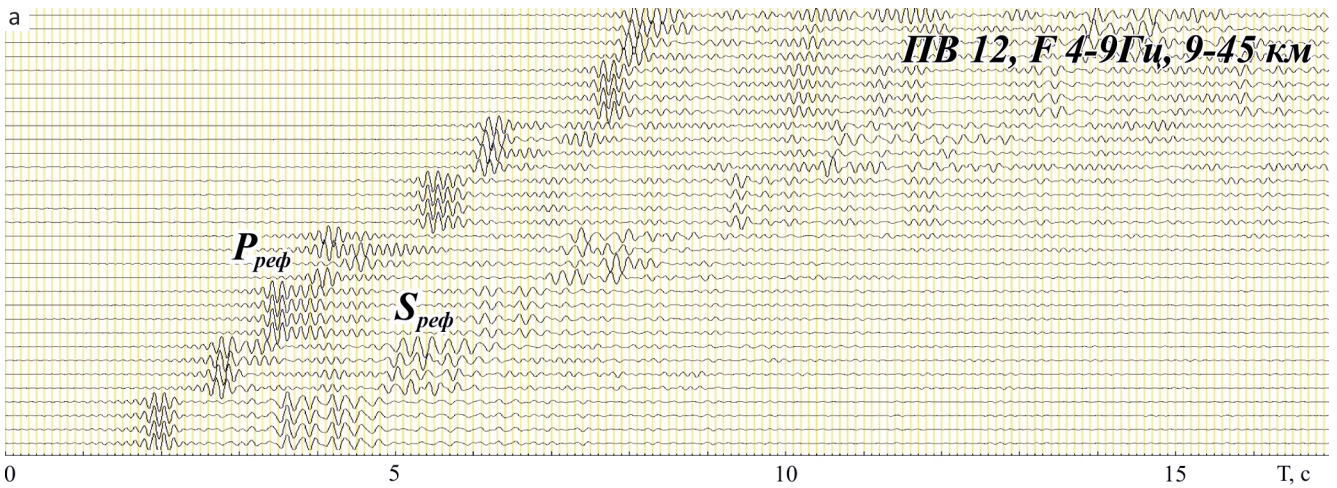


Рис. 2. Примеры обзорных сейсмических записей (а) и редуцированных динамических годографов (б) от взрывов и вибраторов, полученные при полевых работах на профиле 1-СБ в 2014 г.



филе произведено 17 взрывных и 9 вибрационных возбуждений упругих колебаний (см. рис. 1, в). В целом спектры от взрывов в ближней зоне находятся

в достаточно широком диапазоне – от 3 до 15–25 Гц. На больших удалениях (100–140 км) максимумы спектров практически от всех взрывов лежат в диа-

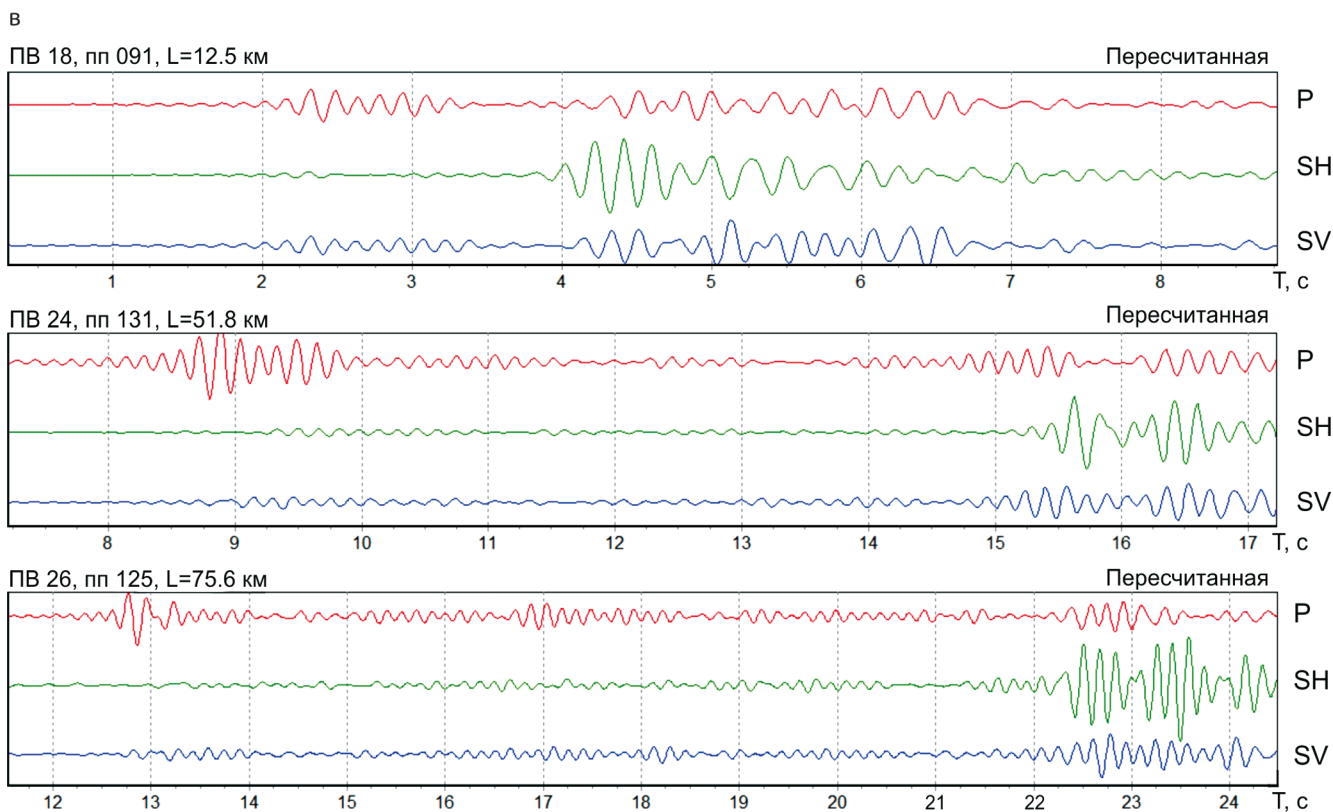


Рис. 3. Записи S-волн на вертикальных (а) и трехкомпонентных (б) приборах и в результате пересчета трехкомпонентных записей на P-, SV- и SH-составляющие (в)

пазоне 4–14 Гц, от вибрационных источников (удаления 10–200 км) – 7–11 Гц.

Волновое поле

Детальный анализ волнового поля на исследуемом профиле показывает, что на записях уверенно выделяются волны в первых вступлениях от границ в верхней части земной коры (осадочного чехла), поверхности кристаллических пород и поверхности Мохоровичича (см. рис. 2).

В пределах профиля скорость P-волн в первых вступлениях на удалениях от 0 до 10–15 км в целом изменяется от 4,6–5,2 км/с до 5,5–5,7 км/с. Наиболее высокими значениями скорости продольных волн характеризуются участки $X = 70$ –90 км в южной части профиля, $X = 320$ –340 км, $X = 390$ –420 км – в центральной, $X = 510$ –530 км – в северной. Пониженные значения скорости P-волн установлены на участке $X = 210$ –240 км в южной части профиля. На базах свыше 10–15 км и до удалений 150–170 км скорость продольных волн по абсолютному большинству годографов возрастает незначительно – примерно до 6,0–6,2, редко до 6,3 км/с. На ряде годографов (пункты взрыва (ПВ) 7, 12, 13, 14) в пределах баз 40–70 км можно отметить изломы годографов на высокую скорость в 6,3–6,5 км/с и выше, что может быть обусловлено локальными высокоскоростными неоднородностями в верхней части разреза.

На удалениях свыше 170–180 км в первых вступлениях регистрируются волны с высокими значе-

ниями кажущейся скорости (8,1–8,7 км/с), по кинематическим (время регистрации), динамическим (форма колебаний) характеристикам и области прослеживания, интерпретируемые как преломленные волны от поверхности Мохоровичича (P_{pr}^M -волны). Редуцированные времена этих волн (при скорости редукции 8,0 км/с) в области выхода в первые вступления изменяются в целом незначительно вдоль профиля: от 7,0–7,2 с в юго-восточной и северо-западной частях профиля до 7,3–7,5 с в центральной, что свидетельствует о незначительном погружении здесь границы Мохоровичича (M).

Практически со всех пунктов взрыва продольные волны от поверхности Мохоровичича отчетливо выражены на сейсмограммах, состоят из двух-трех фаз с видимыми частотами 8–11 Гц (см. рис. 2). Нагоняющие годографы параллельны и увязываются во взаимных точках по системам встречных и нагоняющих годографов. Значения кажущейся скорости по годографам P_{pr}^M -волн изменяются в широких пределах – от 7,5 до 9,5 км/с.

В последующих частях записей поля продольных волн на удалениях 80–250 км на ряде годографов выделяется мощная отраженная волна, идентифицируемая по кинематическим и динамическим признакам (см. рис. 2, б) как отраженная волна от поверхности Мохоровичича (P_{otr}^M). Необходимо отметить в целом нерегулярный характер записи этой волны на профиле, в особенности отсутствие ярко выраженных ее записей на северо-западном участке профиля.



За полем продольных волн уверенно на трехкомпонентных приборах (см. рис. 3, б) и менее уверенно на вертикальных (рис. 3, а, см. рис. 2, а) выделяется поле поперечных аналогов. Наиболее представительный материал получен по данным преломленных (рефрагированных) поперечных волн от границ в земной коре (S_{ref}) и отраженных S-волн от поверхности Мохоровичича (S_{otr}^M). Поперечные волны лучше выражены при возбуждении и регистрации в высокогорных участках профиля, слабее – на низкоскоростных. По сравнению с продольными S-волны имеют повышенные в 1,5–2 раза

времена регистрации (см. рис. 2, а, 3), видимые частоты и кажущуюся скорость на сейсмограммах. По интенсивности они в значительной части записей соизмеримы с соответствующими аналогами поля продольных волн. Для ряда хороших записей была проведена корреляция и построены редуцированные годографы поперечных преломленных (рефрагированных) волн и поперечных отраженных волн от поверхности Мохоровичича. Как и для продольных волн, в целом по годографам преломленных (рефрагированных) поперечных волн отмечено увеличение кажущейся скорости от 2,1–3,3 км/с (уда-

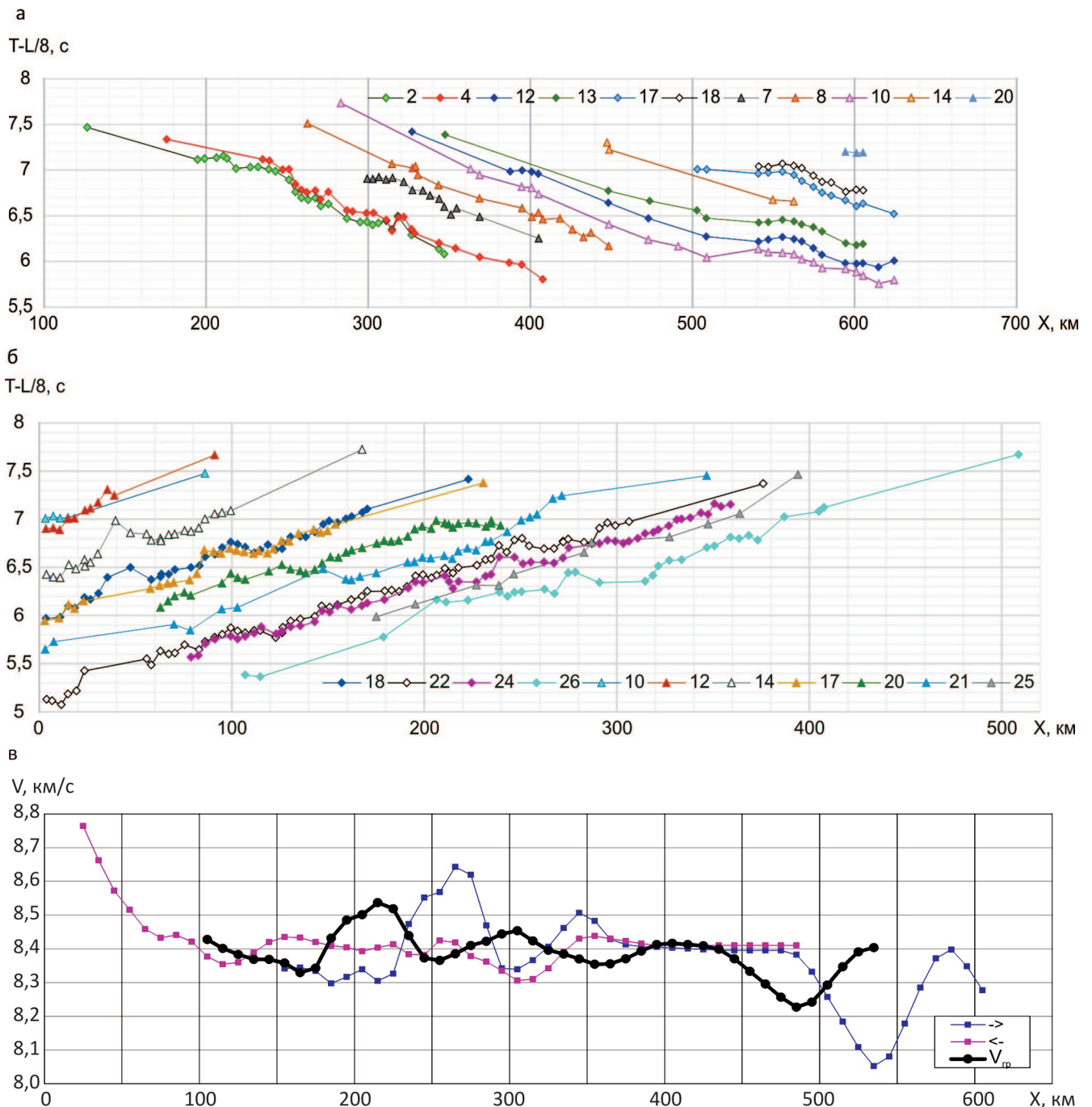


Рис. 4. Определение граничной скорости преломленных волн от границы Мохоровичича на профиле 1-СБ: годографы преломленных волн от границы Мохоровичича с начальными точками по данным отраженных волн в прямом (а) и встречном (б) направлениях, графики кажущейся скорости в прямом и встречном направлениях и граничной скорости (выделена черным цветом) по границе М (в)

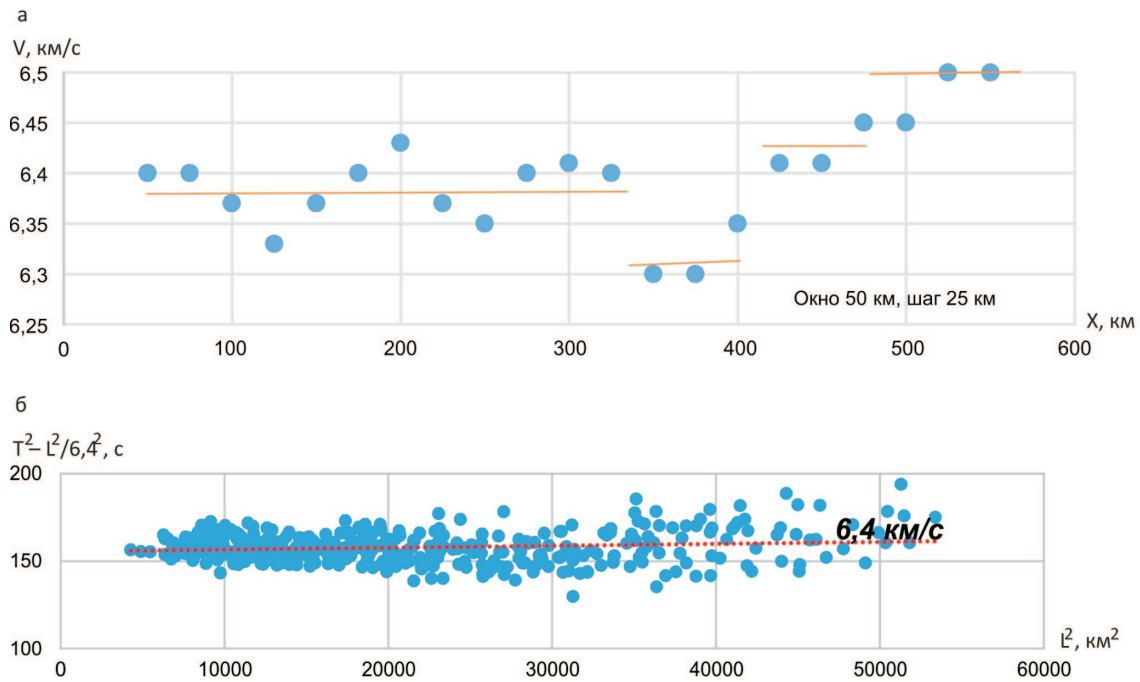


Рис. 5. Результаты определения эффективной скорости продольных волн в земной коре ($V_{эфф}$) на профиле 1-СБ по центрам зондирований (окно 50 км, шаг 25 км) и по сводному редуцированному годографу в квадратичных координатах

ления от 0–10 до 20 км) до 3,6–3,8 км/с (удаления 140–180 км), соответствующее значениям скорости S-волн в самой верхней и средней частях земной коры. На удалениях свыше 180–200 км на ряде записей выделяются поперечные волны с высокими значениями кажущейся скорости в 4,8–5,1 км/с, соответствующие поперечным преломленным волнам от границы Мохоровичича.

Анализ протяженных годографов преломленных волн (рис. 2, рис. 4, а, б) показывает, что резких

изломов годографов преломленных волн (на более высокую скорость) не происходит даже на удалениях свыше 400 км.

Из графиков параллельности с ПВ 2 и ПВ 4 в прямом направлении и с ПВ 22 и ПВ 18 во встречном установлено, что в пределах протяженной совместной области прослеживания (≈ 110 км) схождение годографов не наблюдается; отмечается разброс значений разности редуцированных времен в пределах 0,10–0,15 с, что близко к погрешности

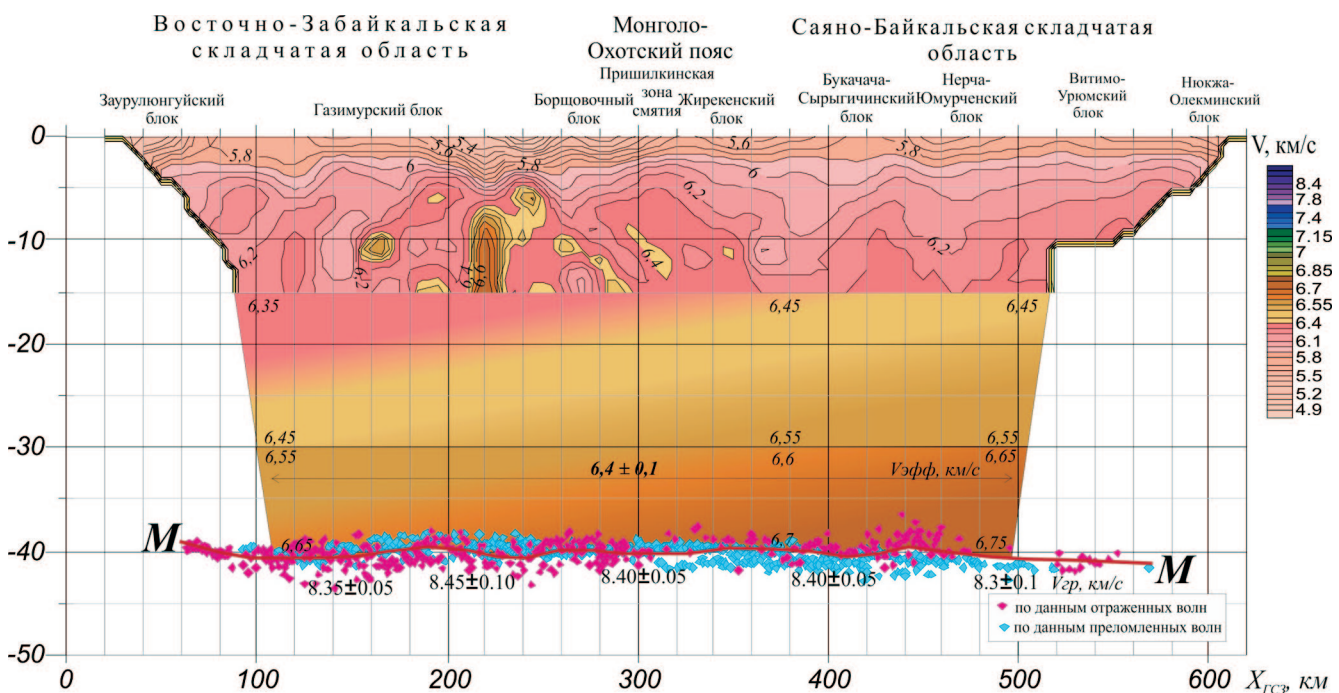
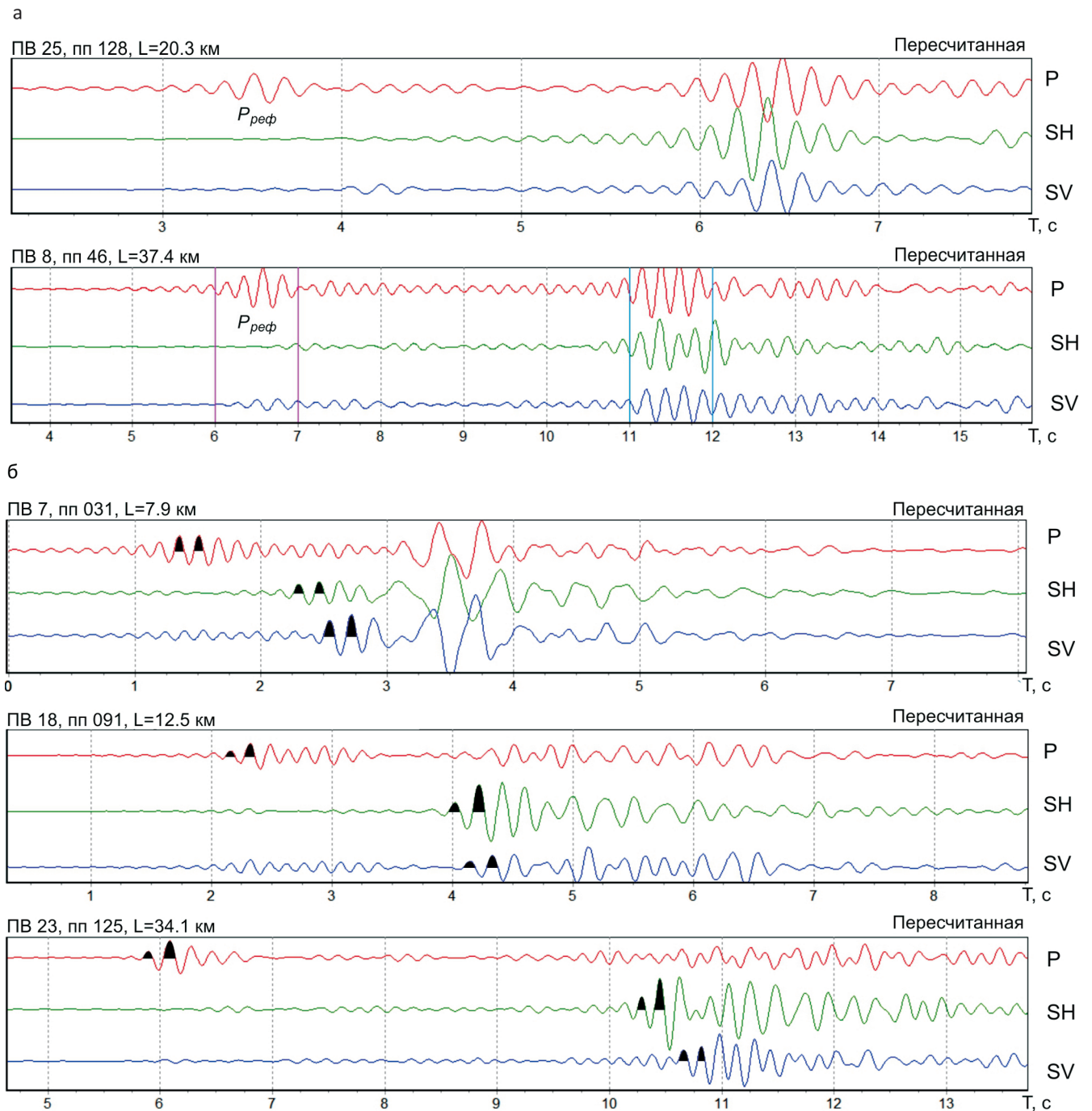


Рис. 6. Глубинный сейсмический разрез по профилю 1-СБ (Восточный участок, забайкальский этап)



снятия времен вступлений на удалениях 200–400 км. Отсутствие схождения годографов на таких больших расстояниях однозначно свидетельствует в пользу высокоскоростного слабоградиентного слоя ниже границы М.

По данным продольных отраженных волн от поверхности Мохоровичича на профиле 1-СБ определялась средняя (эффективная) скорость продольных волн $V_{эфф}$ для всей толщи земной коры. Учитывая высокую плотность наблюдений, ее определение производилось по центрам зондирований (рис. 5, а), согласно технике вычислений [8], и по сводному годографу в квадратичных координатах на рис. 5, б. Осредненные значения эффективной скорости продольных волн в земной коре оказались достаточно близки по разным определениям и со-

ставили $6,4 \pm 0,1$ км/с. Наибольший разброс данных при определении по центрам зондирований получен на северо-западном участке профиля, что связано с невысокой плотностью наблюдений.

Результрующий разрез по данным продольных волн на профиле 1-СБ (см. рис. 6) включает томографические построения верхней части разреза по данным коровых преломленных (рефрагированных) волн, границу М по данным преломленных и отраженных волн и распределение скорости в средней и нижней коре по результатам расчета прямых кинематических задач в рамках многослойной модели среды [8] и лучевого моделирования по технологии SeisWide [10].

Данные построений разными методами должны согласовываться в результирующей модели. Так,

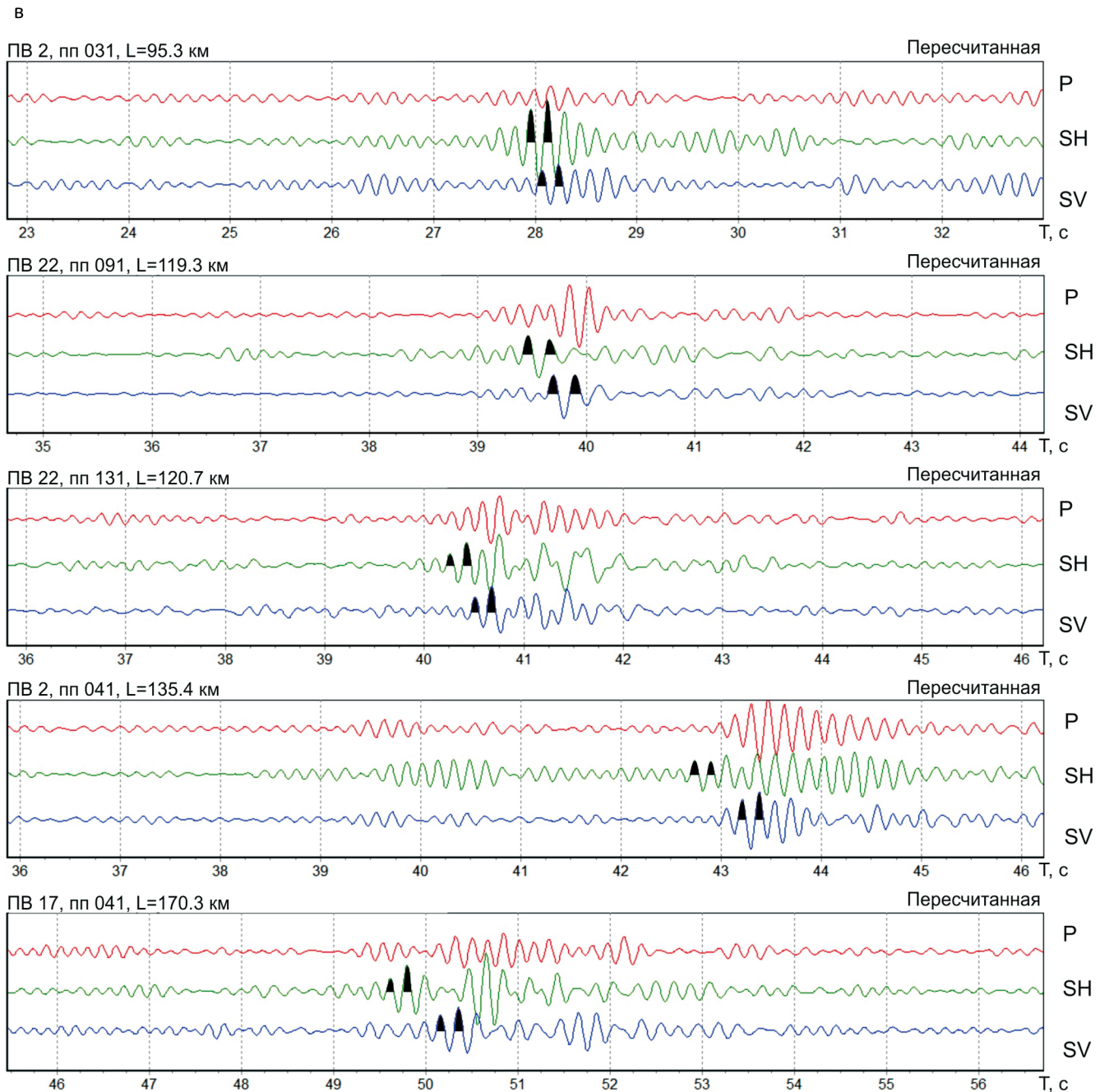


Рис. 7. Изучение анизотропии на профиле 1-СБ, примеры записей: разнополяризованных SV- и SH-волн с отсутствием различия времен регистрации (а), рефрагированных (б) и отраженных от границы Мохоровичича (в) SV- и SH-волн с различием времен регистрации

скорости в низах коры должны быть близки к значениям кажущейся скорости на годографах отраженных волн от границы М на закритических отражениях 200–250 км.

Изучение анизотропии среды по данным трехкомпонентных наблюдений на профиле 1-СБ

Для оценки возможной анизотропности земной коры изучались группы поперечных преломленных (рефрагированных) волн от границ в земной коре и поперечных отраженных волн от поверхности Мохоровичича, поскольку они наиболее уверенно прослеживаются на данном профиле. Общая последовательность обработки полученных

на профиле трехкомпонентных данных состояла из следующих процедур [4, 7, 9].

На первом этапе обработки определялись параметры оптимальной полосовой фильтрации сейсмограмм. Основным критерий «оптимальности» фильтра – подбор наибольшего значения сигнал/помеха для целевой S-волны. При обработке трехкомпонентных сейсмограмм углы выхода сейсмической волны определялись по поляризации опорной Р-волны. На следующем этапе в два приема осуществлялся пересчет сейсмограммы на направления Р, SH и SV: сначала сейсмограмма пересчитывалась на направление прихода Р-волны в горизонтальной плоскости, затем по пересчи-



танной сейсмограмме определялся угол подхода продольной волны в вертикальной плоскости, на который вторым приемом пересчитывалась сейсмограмма. В результате происходит «расщепление» группы S-волн на SH- и SV-составляющие, разделяющиеся или не разделяющиеся по временам регистрации.

В результате обработки было получено несколько десятков представительных сейсмограмм, на которых достаточно уверенно прослеживаются вступления поперечных волн по всем трем компонентам для удалений источник–приемник 10–200 км (см. рис. 3, б). Пересчет позволяет выделить SV- и SH-составляющие в группе S-волн, что облегчает последующую интерпретацию (см. рис. 3, в).

В результате анализа поляризации в группе продольных и поперечных волн выявлена линейная поляризация преломленных (рефрагированных) P- и S-волн из верхней части земной коры. На ряде пересчитанных записей (см. рис. 3, в) на участках регистрации S-волн на P-составляющей не видно сильных колебаний. Это свидетельствует как о правильном пересчете исходных записей на P-, SV- и SH-составляющие (отсутствие погрешностей в установке горизонтальных приборов, калибровка вертикальных и горизонтальных приборов, учет магнитного склонения и др.), так и о линейной поляризации опорных волн. Изучение пересчитанных записей на исследуемом профиле показывает, что на части сейсмограмм с различных участков профиля не установлено различие времен разнополяризованных SV- и SH-составляющих (рис. 7, а). В то же время на значительном количестве сейсмограмм наблюдаются признаки проявления анизотропных свойств среды – регистрация SV- и SH-волн с различными временами вступлений на одних и тех же сейсмограммах (см. рис. 7, б, в). Эта разница на ряде записей (ПВ 23, ПП (пункт приема) 125 для рефрагированных волн, ПВ 17, ПП 41 для отраженных от границы М на рис. 7, б, в) достигает 0,5 с, что свидетельствует об анизотропии упругих свойств земной коры. В большинстве случаев время вступления SH-волны меньше SV-волны. Отношение T_{sv}/T_{sh} для рефрагированных волн, определенное по полным временам пробега волн от источника к регистрирующей станции, составило 1,02–1,07. Учитывая, что лучи SV- и SH-волн на данных удалениях (20–80 км) распространяются неглубоко, полученную кажущуюся анизотропию можно относить к верхней части земной коры. Судя по различию времен регистрации отраженных SV- и SH-волн от границы М до 0,5 с на удалениях 150–180 км, эффективные коэффициенты анизотропии всей толщи земной коры могут достигать 3–5 %.

Глубинное строение Забайкальского участка Центрально-Азиатского пояса

К главным особенностям глубинного сейсмического разреза на Забайкальском участке профиля

1-СБ следует отнести практически горизонтальное положение поверхности Мохоровичича (на глубине около 40 км) с высокими значениями граничной скорости (8,3–8,5 км/с) и чрезвычайно неоднородную верхнюю часть земной коры с высокоскоростными блоками (6,3–6,5 км/с).

Эффективная скорость распространения сейсмических волн в земной коре составляет $6,4 \pm 0,1$ км/с. Граничная скорость продольных волн по поверхности Мохоровичича в целом по профилю повышена ($8,40 \pm 0,15$ км/с), более высокие значения (до 8,55 км/с) отмечаются на северо-западном участке Газимурского блока (участок профиля $X = 190–240$ км на рис. 4, в и рис. 6); пониженные значения (8,25–8,30 км/с) – в северной части Витимо-Урюмского блока в северо-западной части профиля ($X = 465–505$ км). Мощность земной коры составляет около 40 км в южной и центральной частях профиля и около 42 км – в северо-западной (см. рис. 6).

По данным сейсмотомографических исследований отмечается неоднородное строение верхней и средней частей земной коры до глубины 10–15 км: на глубине 5–15 км в пределах профиля выделяется несколько высокоскоростных (6,3–6,5 км/с) блоков. Значения пластовой скорости в средней и нижней частях земной коры составляют 6,4–6,5 и 6,6–6,7 км/с соответственно (см. рис. 6).

По данным S-волн на исследуемом профиле получены дополнительные сведения о глубинном строении земной коры и верхней мантии. По отраженным волнам, как и по продольным, выделяются зоны пониженных значений скорости в самой верхней части разреза в южной ($X = 70–120$ км) части профиля в пределах Заурулюнгуевского блока и в центральной части профиля в пределах Борщовочного ($X = 240–290$ км) и южной части Букачача-Сырыгичинского ($X = 390–430$ км) тектонических блоков (рис. 8, б).

Зоны повышенных значений скорости S-волн ($\approx 3,6–3,7$ км/с) в верхней части земной коры на глубине 5–15 км выделяются на участках $X = 130–230$ км (Газимурский блок), $X = 290–390$ км (Борщовочный и Жирекенский блоки Монголо-Охотского пояса), $X = 420–450$ км (Букачача-Сырыгичинский блок) и $X = 485–520$ км (Нерча-Юмурченский блок Саяно-Байкальской складчатой области) (см. рис. 8, б).

По границе М в центральной части профиля ($X = 130–370$ км) скорость поперечных волн составляет 4,85–4,90 км/с.

По соотношению скоростей P- и S-волн в верхней части коры явно выделяются значительные участки пониженных значений отношений V_p/V_s (1,60–1,70): это участки $X = 30–60$ км, $X = 100–210$ км и $X = 360–450$ км на глубине 10–15 км (см. рис. 8, в). Аналогично указанному отношению, но менее контрастно ведут себя значения коэффициента Пуассона (см. рис. 8, г).

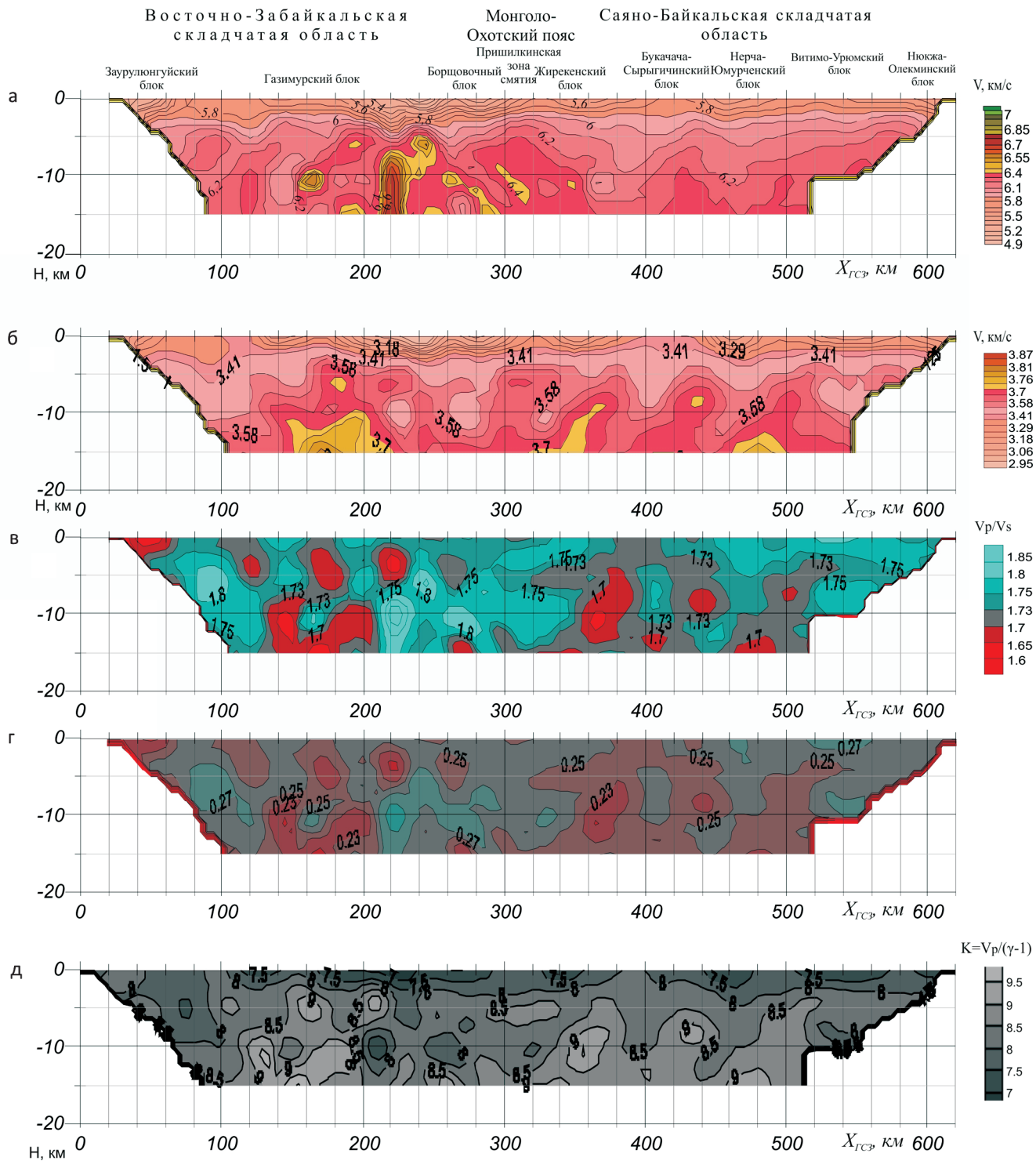


Рис. 8. Совместное использование продольных и поперечных волн на профиле 1-СБ: а–д – распределение значений скорости продольных (а) и поперечных (б) волн, отношений скоростей Р-и S-волн (в), коэффициента Пуассона (г) и параметра K^* (д) в верхней части земной коры

Достаточно информативен для изучения зон неоднородностей в верхней части разреза также параметр $K^* = V_p / (\gamma - 1)$, где $\gamma = V_p / V_s$, связанный со скоростями Р- и S-волн. В сейсмологии его называют фиктивной скоростью. Детальный анализ площадного распределения данного параметра в Алтае-Саянском регионе и на ряде участков Забайкалья подтвердил его высокую информативность при исследовании неоднородностей в земной коре, вблизи

границ которых фиксируются крупнейшие землетрясения [2]. Распределение параметра K^* по профилю для верхней части земной коры (см. рис. 8, д) показывает, что чрезвычайно неоднородна юго-восточная часть профиля (Зауралонгуйский и Газимурский блоки Восточно-Забайкальской складчатой области, $X = 20\text{--}260$ км), где в глубинном распределении параметра K^* отмечается чередование зон пониженных (менее 7,5 км/с) и повышенных (до 9 км/с и бо-



лее) его значений, а менее контрастны центральная и северо-западная части профиля.

В земной коре отмечена анизотропия упругих свойств, свидетельствующая о повышенной неоднородности среды, разбитой зонами глубинных разломов и, соответственно, зонами повышенной трещиноватости.

Выводы

Получена новая дополнительная информация о глубинном строении слабо изученной глубинными сейсмическими исследованиями территории Восточного Забайкалья. В створе опорного геофизического профиля 1-СБ (Восточный участок, забайкальский этап) установлено чрезвычайно неоднородное строение земной коры и мантии, выражающееся в значительных скоростных неоднородностях Р-и S-волн в верхней части разреза, анизотропии упругих свойств земной коры и в аномально высоких скоростях по границе Мохоровичича. Эти сведения чрезвычайно полезны для обоснования глубинной геолого-геофизической модели земной коры и верхней мантии региона, которое необходимо как для выяснения закономерностей пространственного распределения скоплений полезных ископаемых, так и для уточнения положения гипоцентров землетрясений при сейсмологических исследованиях и в целом при анализе сейсмичности территории Забайкалья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Геологическая** карта России и прилегающих акваторий, масштаб 1:2 500 000 / под ред. О.В. Петрова. – СПб.: Картфабрика ВСЕГЕИ, 2008. – 12 л.
2. **Глубинное** строение литосферы Алтае-Саянского региона по данным промышленных взрывов, землетрясений и мощных вибрационных источников / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. Ф. Еманов и др. // Матер. междунар. науч.-практ. сем. «Модели строения земной коры и верхней мантии». – СПб.: ВСЕГЕИ, 2007. – С. 201–206.
3. **Государственная** сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин / Ю. М. Эринчек, А. В. Липилин, Р. Б. Сержантов и др. // Сб. докл. междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию акад. Н. Н. Пузырева – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2014. – С. 282–288.
4. **Детальные** сейсмические исследования литосферы на Р- и S-волнах / С. В. Крылов, Б. П. Мишенькин, З. Р. Мишенькина и др. – Новосибирск: Наука, 1993. – 199 с.
5. **Землетрясения** России в 2013 году (каталог землетрясений Прибайкалья и Забайкалья). – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С. 128–135.
6. **Изучение** земной коры и верхней мантии в Байкальской рифтовой зоне методом глубинного сейсмического зондирования / Б. П. Мишенькин, З. Р. Мишенькина, Г. В. Петрик и др. // Физика Земли. – 1999. – № 7–8. – С. 74–93.

7. **Использование** поперечных волн при глубинном сейсмическом зондировании в Западной Якутии / В. С. Селезнев, В. М. Соловьев, В. Д. Суворов и др. // Геология и геофизика. – 1987. – № 1. – С. 109–117.

8. **Использование** эффективных сейсмических моделей сред при работах ГСЗ на опорных профилях в восточной части России / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. С. Сальников и др. // Геология, геофизика и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 4. – С. 74–86.

9. **Поперечные** волны и сейсмическая анизотропия земной коры в Западной Якутии / С. В. Крылов, В. С. Селезнев, В. М. Соловьев и др. // Изв. АН СССР. Сер. Физика Земли. – 1991. – № 2. – С. 26–33.

10. **Zelt C. A., Ellis R. M.** Practical and efficient ray tracing in two-dimensional media for rapid traveltimes and amplitude forward modeling // Canadian journal of exploration geophysics. – 1988. – Vol. 24, No. 1 (June). – P. 16.

REFERENCES

1. *Geologicheskaya karta Rossii i prilgayushchikh akvatoriy, masshtab 1:2 500 000* [Geological map of Russia and adjoining water areas, scale 1:2.500.000] O. V. Petrov ed. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2008. 12 sheets. (In Russ.).
2. Solovyev V.M., Seleznev V.S., Emanov A.F., et al. [Deep structure of the Altai-Sayan region lithosphere from industrial explosions, earthquakes, and high-energy vibratory sources]. *Materialy mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo seminara «Modeli stroeniya zemnoy kory i verkhney mantii»*. [Proceedings of the International Research-to-Practice Workshop “Structural Modelling of the Earth’s Crust and the Upper Mantle”]. St. Petersburg, VSEGEI Publ., 2007, pp. 201–206. (In Russ.).
3. Erinchek Yu.M., Lipilin A.V., Serzhantov R.B., et al. [National network of geological-geophysical base lines, parametric and ultra-deep wells]. *Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu akademika N. N. Puzyreva* [Proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 100th anniversary of Academician N. N. Puzyrev]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2014, pp. 282–288. (In Russ.).
4. Krylov S.V., Mishen'kin B.P., Mishen'kina Z.R., et al. *Detal'nye seysmicheskie issledovaniya litosfery na R- i S- volnakh* [Detailed seismic survey of lithosphere based on P- and S-waves]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1993. 199 p. (In Russ.).
5. *Zemletryaseniya Rossii v 2013 godu (katalog zemletryasenyi Pribaykal'ya i Zabaykal'ya)* [Earthquakes in Russia in 2013 (Earthquakes in Cis-Baikal and Trans-Baikal areas)]. Obninsk, GS RAS Publ., 2015, pp. 128–135. (In Russ.).
6. Mishenkin B.P., Mishenkina Z.R., Petrik G.V., et al. [Deep seismic sounding of the Earth’s crust and upper mantle in the Baikal rift zone]. *Fizika Zemli* –



Physics of the Solid Earth, 1999, no. 7–8, pp. 74–93. (In Russ.).

7. Seleznev V.S., Solovyev V.M., Suvorov V.D., et al. [S-waves in deep seismic sounding in West Yakutia]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 1987, no. 1, pp. 109–117. (In Russ.).

8. Solovyev V.M., Seleznev V.S., Salnikov A.S., et al. [Effective seismic models of media used in DSS operations on base lines in Eastern Russia]. *Geologiya i mineral'noe syr'e Sibiri – Geology and Mineral*

Resources of Siberia, vol. 4. Novosibirsk, 2014, no. 4, pp. 74–86. (In Russ.).

9. Krylov S.V., Seleznev V.S., Solovyev V.M., et al. [Share waves and seismic anisotropy in the crust of Western Yakutia]. *Fizika Zemli – Physics of the Solid Earth*, 1991, no. 2, pp. 26–33. (In Russ.).

10. Zelt C.A., Ellis R.M. Practical and efficient ray tracing in two-dimensional media for rapid traveltimes and amplitude forward modeling. *Canadian Journal of Exploration Geophysics*, 1988, vol. 24, no. 1 (June), p. 16.

© В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. С. Сальников, А. В. Лисейкин, И. Е. Романенко, С. А. Елагин, А. Е. Шенмайер, Н. А. Серезников, 2017