



ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ЗАБАЙКАЛЯ В СТВОРЕ ОПОРНОГО ПРОФИЛЯ 1-СБ «ВОСТОЧНЫЙ» ПО ДАННЫМ РАЗНОПОЛЯРИЗОВАННЫХ P- И S-ВОЛН

В. М. Соловьев¹, Н. А. Галёва¹, А. С. Сальников², В. С. Селезнев³, А. В. Лисейкин³,
Т. В. Кашубина⁴, Д. В. Вяткина⁴

¹Алтае-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Новосибирск, Россия; ²Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия; ³Сейсмологический филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН», Новосибирск, Россия; ⁴Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А. П. Карпинского, Санкт-Петербург, Россия

Представлены результаты глубинных сейсмических исследований по данным P-и S-волн на опорном 1200-километровом геофизическом профиле 1-СБ «Восточный» в Забайкалье. Построены глубинные сейсмические разрезы с распределением скоростей продольных и поперечных волн в земной коре и по поверхности Мохоровичича. Эта граница расположена на глубинах 40–48 км, граничная скорость P-волн вдоль нее существенно меняется – от 7,9 до 8,5 км/с; по данным S-волн она равна 4,6–4,9 км/с. Скорости P- и S-волн в земной коре составляют 6,4–6,5 и 3,65–3,75 км/с соответственно. Установлено неоднородное строение верхней части земной коры до глубин 15–20 км по соотношению скоростей P- и S-волн и коэффициенту Пуассона. Подтверждены выявленные ранее на профиле 3-ДВ корреляции по приуроченности ряда рудных месторождений к зонам пониженных отношений скоростей P- и S-волн и коэффициента Пуассона в верхней части земной коры.

Ключевые слова: профиль ГСЗ, продольные и поперечные волны, скорости P- и S-волн и их отношения, глубинный сейсмический разрез, земная кора, граница М, минерогенетическая зона.

PECULIARITIES OF THE TRANSBAIKAL SEISMIC STRUCTURE AT THE SITE OF THE BASE LINE 1-SB VOSTOCHNY ON DATA OF DIFFERENTLY POLARIZED P- AND S-WAVES

V. M. Solovyev¹, N. A. Galyova¹, A. S. Salnikov², V. S. Seleznev³, A. V. Liseykin³,
T. V. Kashubina⁴, D. V. Vyatkina⁴

¹Geophysical Survey of Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, Russia; ²Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia; ³Altai-Sayan Regional Seismological Center, Geophysical Service SB RAS, Novosibirsk, Russia; ⁴A.P.Karpinsky Russian Geological Research Institute, Saint Petersburg, Russia

Results of deep seismic studies of the P- and S-wave data on the 1,200-km base geophysical line 1-SB Vostochny in Transbaikal are presented. Deep seismic sections showing distribution of longitudinal and transverse velocities in the Earth's crust and on the Moho are constructed. The M boundary is located at depths of 40–48 km, the boundary velocity of P-waves varies greatly along it and is 7.9–8.5 km/s. According to S-wave data, it is 4.6–4.9 km/s. The velocities of the P- and S-waves in the Earth's crust are 6.4–6.5 and 3.65–3.75 km/s, respectively. An inhomogeneous structure of the upper Earth's crust down to depths of 15–20 km has been established by the P- and S-velocity relationship and Poisson's ratio. The correlations identified earlier on the 3-DV line have been confirmed by the confinement of a number of ore deposits to zones of reduced P- and S-velocity relationships and Poisson's ratios in the upper Earth's crust.

Keywords: DSS line, longitudinal and transverse waves, P- and S-velocities, velocity relationships, deep seismic section, Earth's crust, Moho boundary, minerogenetic zone.

DOI 10.20403/2078-0575-2019-3-57-71

Площадь исследований в Забайкалье находится в пределах крупных тектонических структур Центрально-Азиатского складчатого пояса [3]. Сейсмическими методами наиболее изучены ее западная и северо-западная части в пределах Байкальской рифтовой зоны [8, 10, 15], восточная часть изучена слабо [10, 15]. В 2014–2015 гг. на этой территории по заказу Федерального агентства по недропользованию были выполнены комплексные (методы ОГТ, КМПВ, ГСЗ, МТЗ и др.) геолого-геофизические исследования на опорном геолого-геофизическом профиле 1-СБ «Восточный» (рис. 1), направленные на изучение крупных металлогенетических провинций Восточного Забайкалья, оценку общего ресурсного потенциала, а также на обоснование долгосрочных и краткосрочных про-

грамм по оценке минерально-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов и системное обновление фундаментальной геолого-геофизической информации о строении и динамике недр [7].

В статье представлены результаты этих исследований. Протяженность профиля свыше 1200 км. По данным разнополяризованных P- и S-волн в его створе освещены особенности глубинного строения крупных тектонических структур Центрально-Азиатского складчатого пояса.

Экспериментальный материал

Работы ГСЗ на Забайкальском и Байкало-Патомском фрагментах (см. рис. 1) указанного профиля выполнялись по методике точечных диффе-

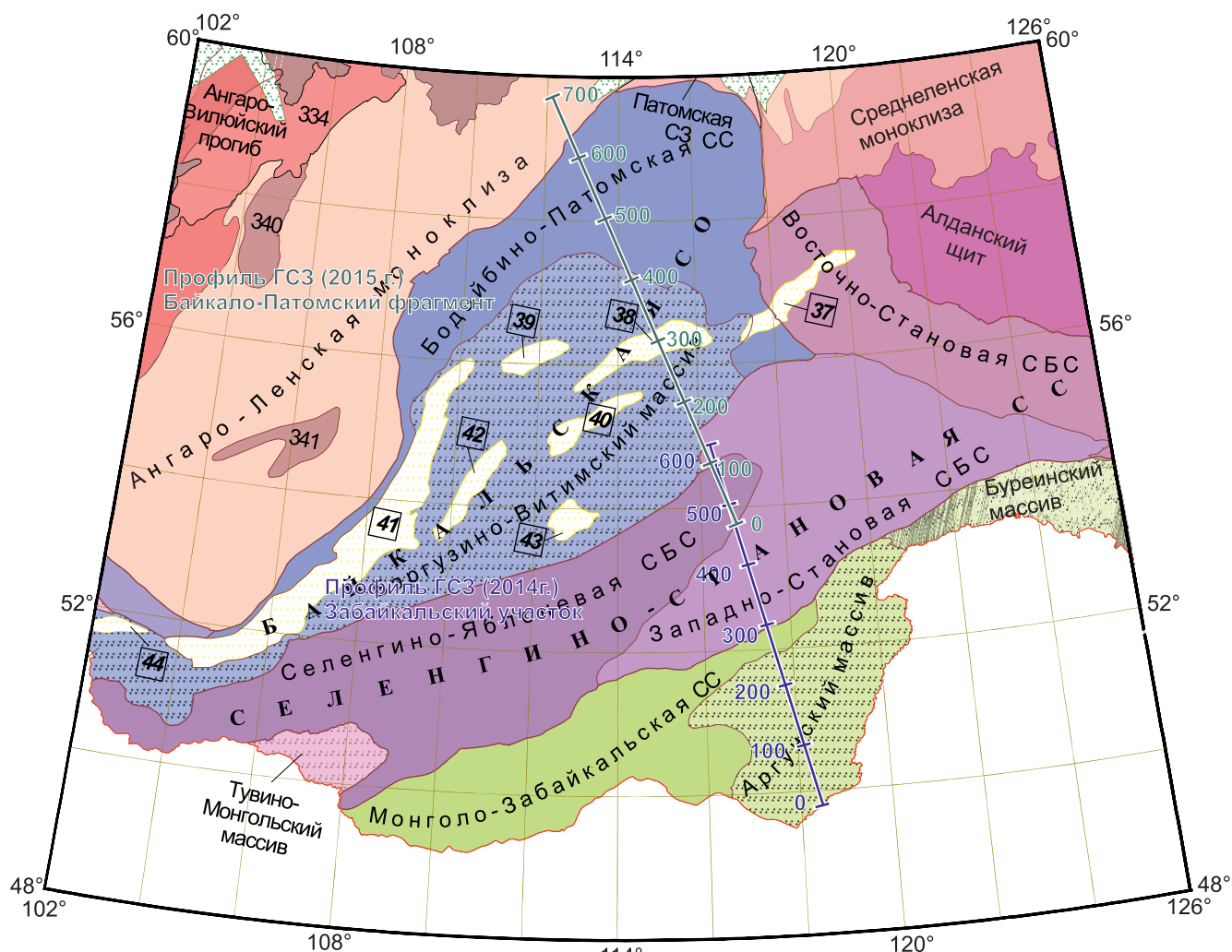


Рис. 1. Схема тектонического районирования согласно [3] в полосе опорного профиля 1-СБ (Восточный участок)

Цифры в квадратах – рифтогенные впадины: 37 – Чарско-Чаруодинская, 38 – Муйская, 39 – Верхнеангарская, 40 – Ципинская, 42 – Баргузинская, 44 – Киренская; 41 – Байкальский рифт; 43 – Амалатское лавовое поле

ренциальных сейсмических зондирований [8, 10]. Реализованы достаточно плотные системы наблюдений: с расстояниями в среднем 15–30 км между источниками возбуждения (взрывы в озерах массой заряда 3–6 т, мощные вибраторы), 4–5 км между регистрирующими станциями (РОСА, Байкал) с группами вертикальных приборов СВ-5 и Sersel SG-5, 20 км – с трехкомпонентными приборами GS-20DX, GS-One.

В целом на профиле задействовано 37 взрывных и 15 вибрационных источников. Дальность регистрации на ряде участков опорного профиля достигала 400–500 км. Высокая плотность наблюдений, хорошее качество экспериментальных данных на вертикальных и трехкомпонентных приборах позволили детально изучить волновое поле как продольных, так и поперечных волн.

***P*-волны**

Анализ волнового поля показывает (рис. 2), что на записях в первых вступлениях уверенно выделяются продольные волны от границ в верхней и средней (эпизодически и в нижней) частях земной коры ($P_{\text{реф}}$) и поверхности Мохоровичича ($P_{\text{пр}}^M$).

В последующих вступлениях поля продольных волн на удалениях 80–200 км выделяются интенсивные 3–4-фазные отражения от границы М [2, 4].

В пределах профиля скорость P -волн в первых вступлениях на удалениях от 0 до 10–15 км в целом изменяется от 3,5–4,5 до 5,5–5,8 км/с; от 10–15 км и до больших удалений скорость продольных волн по основной массе годографов возрастает незначительно, примерно до 6,0–6,2 км/с, редко (на отдельных годографах на удалениях более 120–150 км) – до 6,3–6,5 км/с.

Значения кажущейся скорости $P_{\text{пр}}^M$ -волн, прослеживающихся в первых вступлениях на удалениях свыше 170–180 км в пределах профиля изменяются от 7,7 до 8,7 км/с. Более высокие ее значения установлены практически на всем Забайкальском фрагменте профиля и на нескольких участках Байкало-Патомского. Продольные волны от поверхности Мохоровичича практически на всех пунктах взрыва выразительны 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.

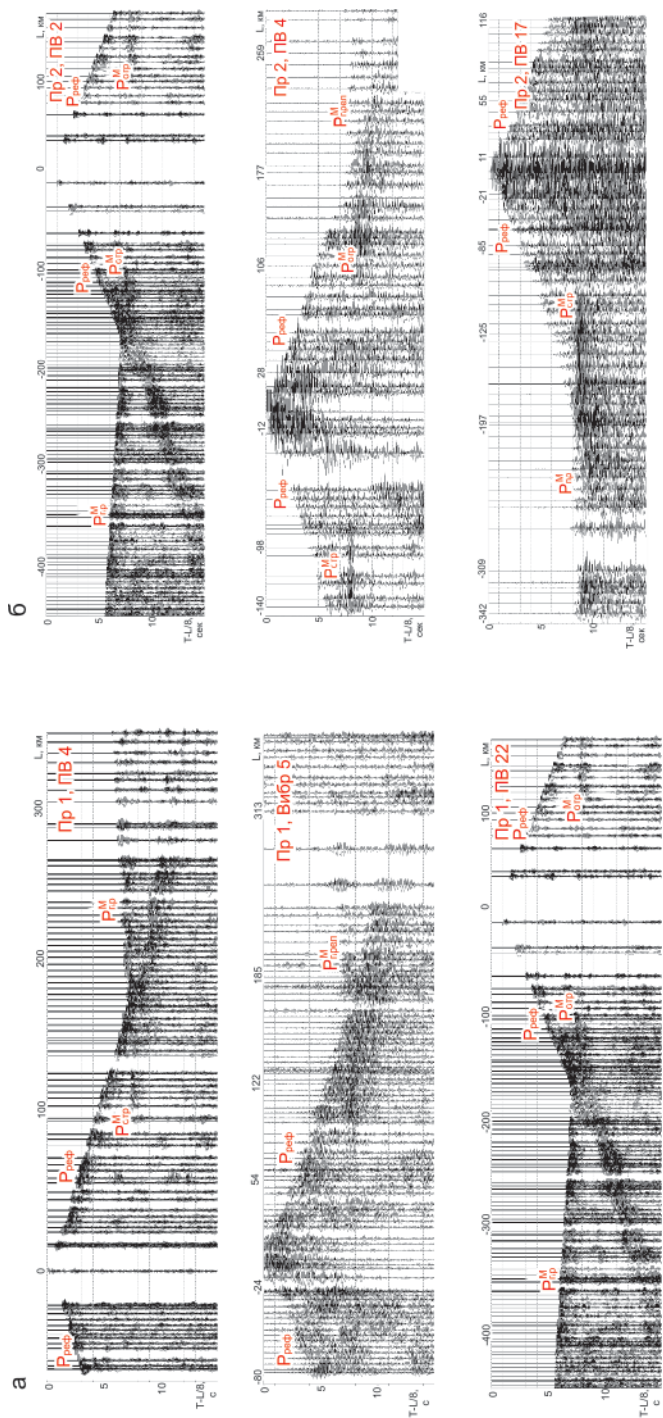


Рис. 2. Пример волнового поля в области продольных волн на Забайкальском (а) и Байкало-Патомском (б) фрагментах профиля 1-СБ «Восточный»

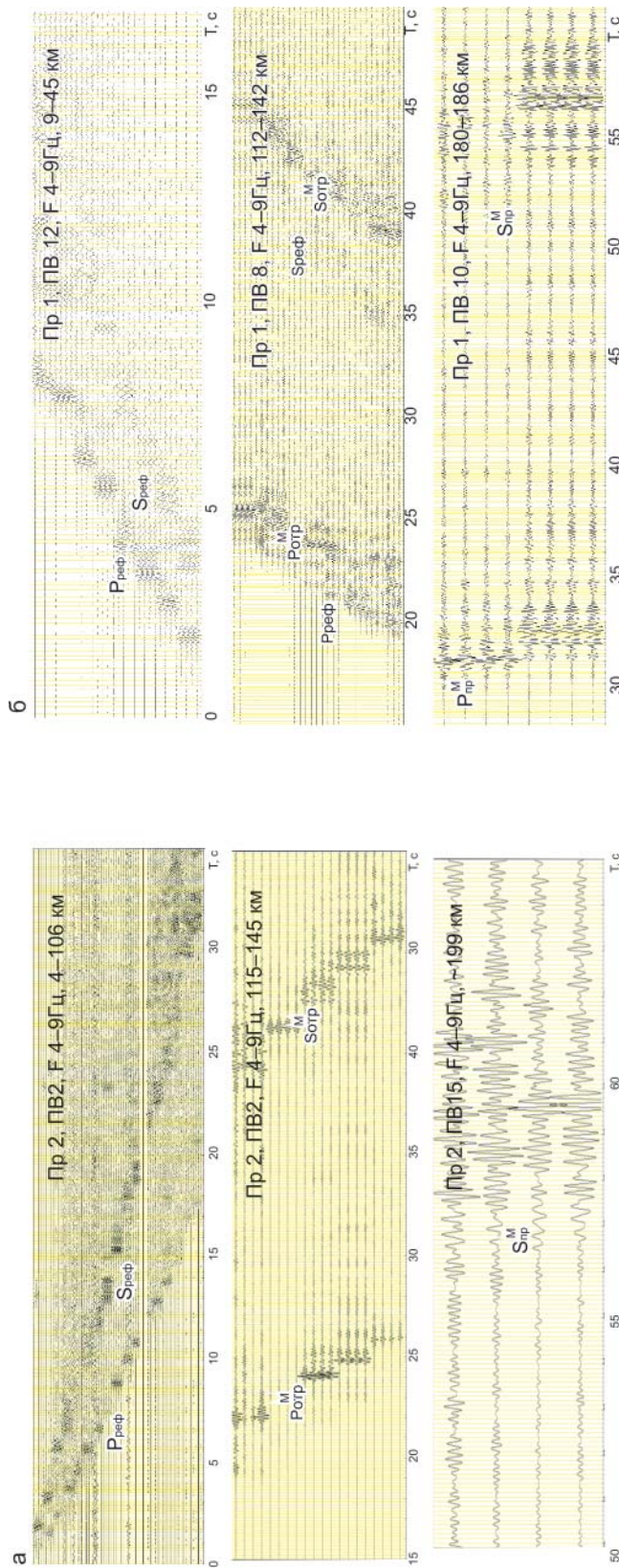


Рис. 3. Примеры записей поперечных волн на вертикальных профилях на Забайкальском (а) и Байкало-Патомском (б) фрагментах профиля 1-СБ «Восточный»

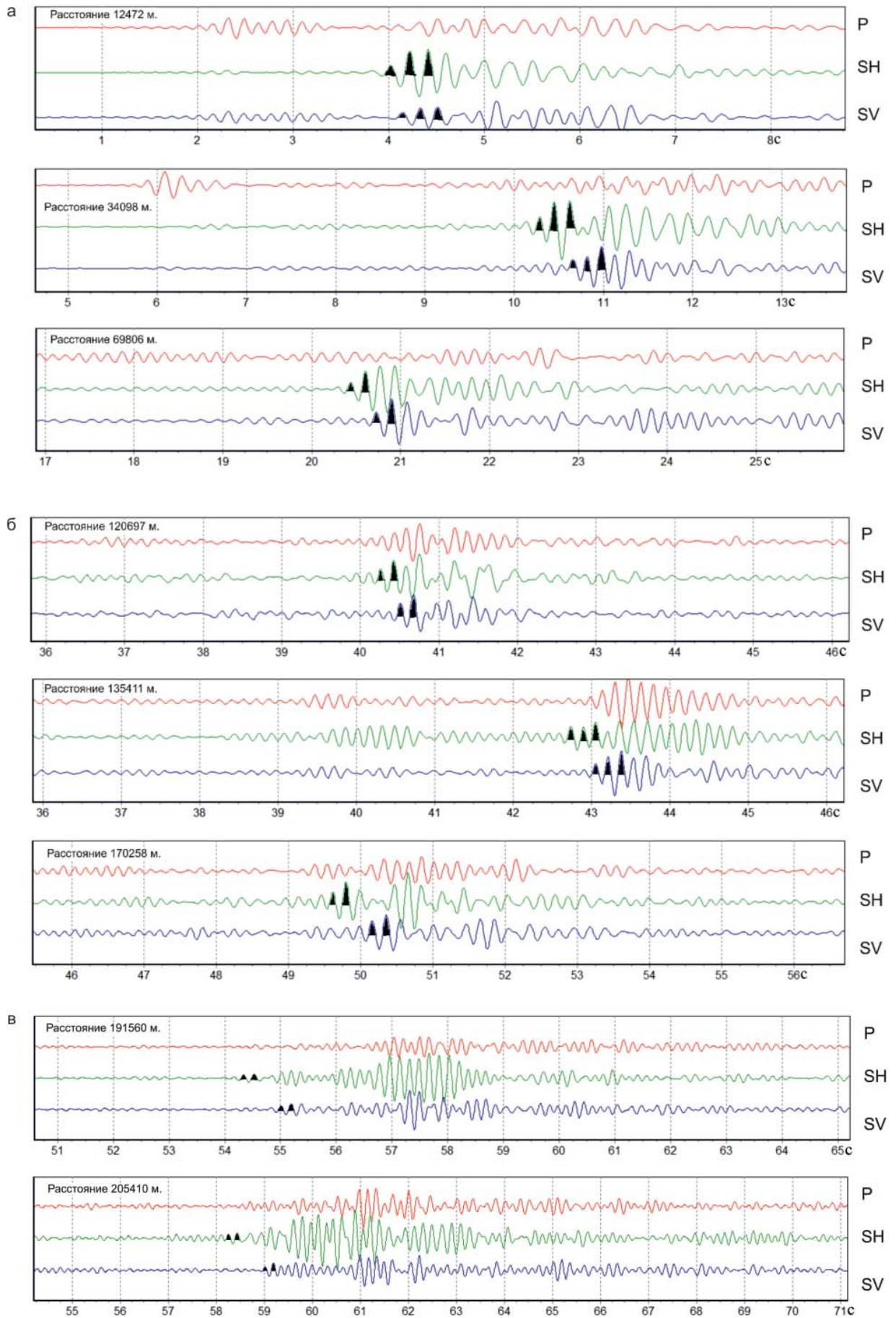


Рис. 4. Примеры записей поперечных волн после поляризационной обработки трехкомпонентных данных на профиле 1-СБ: а – данные рефрагированных S-волн из верхней и средней части земной коры; б, в – записи поперечных отраженных и преломленных волн от границы М соответственно

Отраженные продольные волны от поверхности Мохоровичича наиболее выразительны в области начальной точки на удалениях 90–120 км, состоят из трех-четырех фаз с видимыми частотами 8–11 Гц (см. рис. 2). В целом на профиле отмечается нерегулярный характер записи отраженной волны от границы М, выражающийся в отсутствии ярко выраженных записей $P_{\text{пр}}^M$ -волн для некоторых участков профиля.

S-волны

За полем продольных волн менее уверенно на вертикальных (рис. 3) и уверенно на трехкомпонентных приборах (рис. 4) выделяется поле поперечных аналогов. Наиболее представительный материал получен по данным преломленных (рефрагированных) поперечных волн от границ в земной коре ($S_{\text{реф}}$) и отраженным S-волнам от поверхности Мохоровичича ($S_{\text{отр}}^M$). Поперечные волны лучше выражены при возбуждении и регистрации на высокоскоростных участках профиля (высокогорной местности) и слабо выделяются на низкоскоростных (осадочные впадины). По сравнению с продольными волнами времена регистрации S-волн повышены в 1,5–2 раза (см. рис. 3, 4), видимые частоты и кажущаяся скорость на сейсмограммах понижены. По интенсивности они в значительной части записей соизмеримы с соответствующими аналогам поля продольных волн. По ряду хороших записей 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 на удалениях от 0–10 до 20 км до 3,6–3,8 км/с на удалениях 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 (4,5–5,1 км/с), соответствующие поперечным преломленным волнам от границы Мохоровичича. Наиболее высокие значения кажущейся скорости $S_{\text{отр}}^M$ -волн, как и по продольным волнам, установлены на всем Забайкальском фрагменте профиля и на нескольких участках Байкало-Патомского.

Интерпретация и результаты

Интерпретация данных P- и S-волн проводилась раздельно на Забайкальском и Байкало-Патомском фрагментах профиля традиционными для ГСЗ способами [8, 11]. Были построены годографы рефрагированных P- и S- волн, преломленных и отраженных P- и S- волн от границы Мохоровичича, увязанные во взаимных точках. По данным рефрагированных P- и S-волн рассчитаны томографические разрезы земной коры до глубин 15–25 км [2, 4]; по

данным преломленных и отраженных продольных и поперечных волн от границы М определялись средняя (эффективная) скорость P- и S-волн в земной коре, положение поверхности Мохоровичича и распределение вдоль нее значений скорости упругих волн. Определение граничной скорости P-волн по границе М и эффективной скорости продольных волн в земной коре Забайкальского фрагмента профиля 1-СБ «Восточный» детально освещено в работе [2], результаты определения $V_{\text{г}}$ и $V_{\text{эфф}}$ продольных волн на Байкало-Патомском фрагменте профиля приведены в работе [4] (рис. 5).

При определении граничной скорости S-волн в связи с небольшой областью уверенного прослеживания преломленных поперечных волн от границы М использовались начальные точки по данным отраженных S-волн на удалениях 80–110 км. Это привело к большим осреднениям и, как следствие, к более сглаженному результату определения граничной скорости S-волн по сравнению с данными по продольным преломленным волнам от границы М.

По результатам интерпретации опорных продольных и поперечных волн построены глубинные сейсмические разрезы на Забайкальском и Байкало-Патомском фрагментах профиля. Реализован комбинированный способ восстановления результирующих разрезов, описанный в [2, 4], включающий томографические построения верхней части разреза по данным коровых преломленных (рефрагированных) P- и S-волн; восстановление границы М по данным преломленных и отраженных P- и S-волн, скоростей в нижней части коры по данным закритических отраженных P- и S-волн от границы М на удалениях 200–300 км, восстановления скоростей P- и S-волн в средней части разреза путем просчета прямых кинематических задач в рамках многослойной модели среды и согласования с эффективными скоростями во всей толще земной коры. Данные построений разными методами должны согласовываться в результирующей модели (рис. 6).

Скоростной глубинный разрез по продольным волнам по профилю проверен решением прямой задачи методом лучевого моделирования (см. рис. 6, в). Основные особенности глубинного строения на рис. 6, а и б, в совпадают. Имеются некоторые различия по топографии границы М на наиболее сложных в геологическом отношении участках. Так, на разрезе на рис. 6, в не проявляется выступ поверхности Мохоровичича на 750 км с высокой $V_{\text{гр}}$. Зона с пониженными значениями $V_{\text{гр}}$ (7,9 км/с) по границе М в области 800–900 км смещена несколько южнее и имеет меньшее латеральное распространение, чем на разрезе, изображенном на рис. 6, а.

Поверхность Мохоровичича расположена на глубинах примерно 40 км в юго-восточной половине профиля и 40–48 км в северо-западной его половине. Под крупными хребтами (Южно-Муйским, Северо-Муйским и Делюн-Уранским) мощность земной

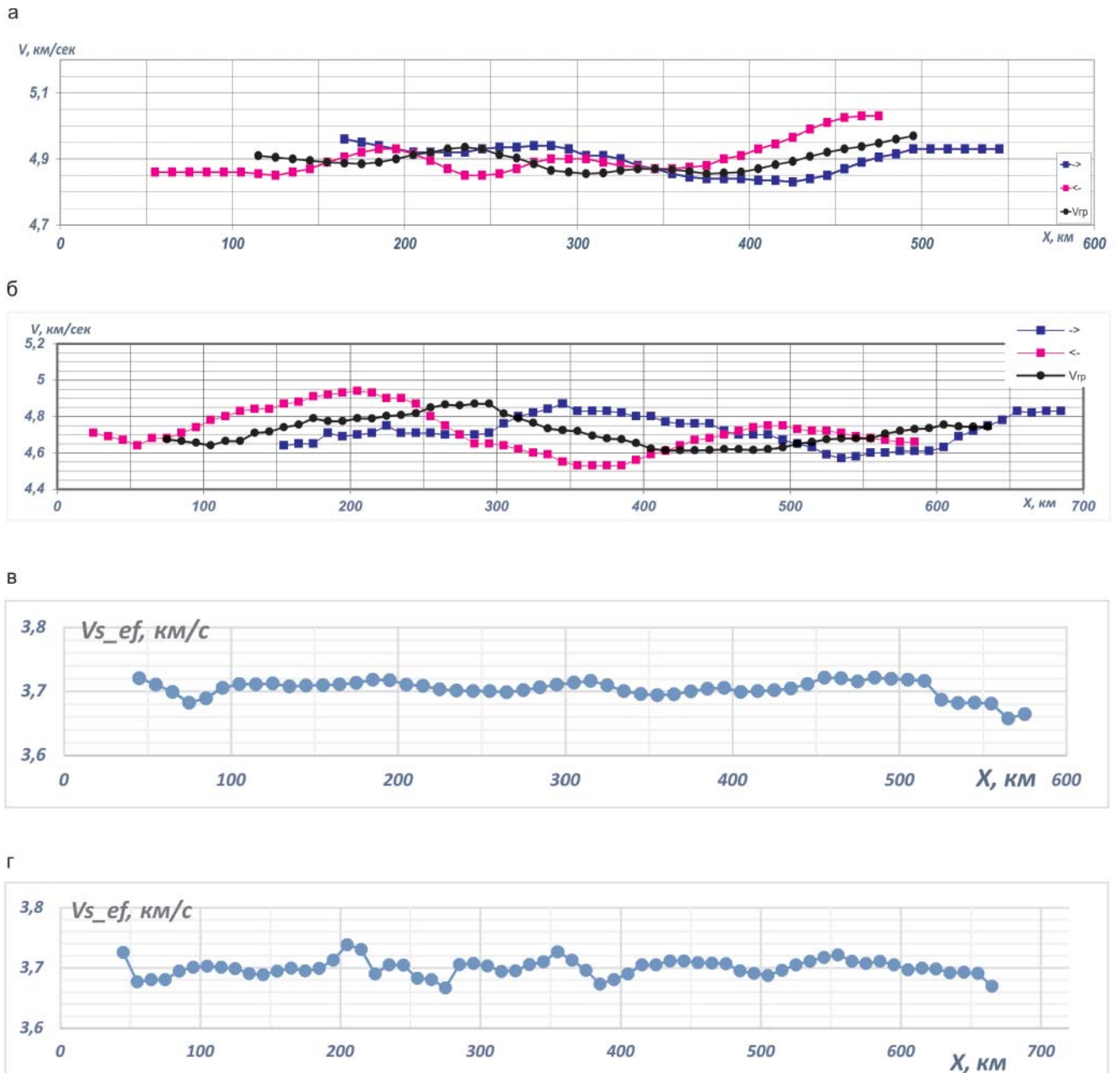


Рис. 5. Определение скорости поперечных волн в земной коре и мантии на профиле 1-СБ «Восточный»: а, б – графики кажущейся скорости в прямом и встречном направлениях и граничной скорости (выделена черным цветом) поперечных волн на Забайкальском и Байкало-Патомском фрагментах профиля 1-СБ соответственно; в, г – результаты определения эффективной скорости поперечных волн по центрам зондирования (окно 50 км, шаг 10 км) на Забайкальском и Байкало-Патомском фрагментах профиля 1-СБ соответственно

коры повышена до 45–48 км. Эффективная скорость распространения сейсмических волн до границы М по данным отраженных продольных и поперечных волн составляет 6,4–6,5 км/с и 3,65–3,75 км/с соответственно.

Граничная скорость продольных волн по поверхности Мохоровичича повышена до $8,40 \pm 0,15$ км/с в юго-восточной половине и в центральной части Баргузино-Витимского массива в пределах Муйской глыбы (745–805 км) в северо-западной половине профиля (см. рис. 6, а). Пониженные значения граничной скорости Р-волн от границы М (7,8–8,0 км/с) отмечены в области сочленения Баргузино-Витимского массива и Бодайбин-

ско-Патомской складчатой системы (825–945 км). На других участках установлены нормальные значения граничных скоростей продольных волн ($8,1 \pm 0,1$ км/с, см. рис. 6, а). В целом полученное распределение граничной скорости на изучаемом профиле коррелирует с таковым по материалам ГСЗ 1970–1980-х гг. [10, 15].

Значения граничной скорости S-волн повышены (4,85–4,95 км/с) в юго-восточной части профиля (см. рис. 6, б), а в северо-западной она в целом изменяется от 4,6 до 4,9 км/с: более высокие значения ($>4,7$ км/с) отмечены в пределах Баргузино-Витимского массива (в особенности в районе Муйской глыбы) и в северо-западной части Бодайбин-



бино-Патомской складчатой системы, пониженные (4,6 км/с) – в области сочленения Баргузино-Витимского массива и Бодайбино-Патомской складчатой системы, Западно-Становой складчато-блоковой системы и Баргузино-Витимского массива (см. рис. 5, б, рис. 6, б).

Чрезвычайно неоднородна по распределению скоростей Р- и S-волн верхняя часть земной коры до глубин 10–15 км (см. рис. 6). По данным продольных волн на глубинах 5–15 км в пределах профиля выделяется несколько высокоскоростных блоков со скоростью 6,3–6,5 км/с. Зоны повышенных скоростей прослеживаются в северо-западной части Газимурского блока, Пришилкинской зоне, Букачача-Сырыгинском блоке, Баргузино-Витимском массиве, в области сочленения Баргузино-Витимского массива и Бодайбино-Патомской складчатой системы и в северо-западной части последней. Зоны пониженных скоростей (6,0–6,1 км/с) на тех же глубинах выделяются в центральной части Газимурского блока, в области сочленения Букачача-Сырыгинского и Жирекенского блоков, в юго-восточной и центральной части Баргузино-Витимского массива и в центральной части Бодайбино-Патомской складчатой системы. Значения пластовой скорости в средней части земной коры составляют 6,4–6,5 км/с, в нижней части разреза – 6,6–6,7 и 6,7–6,8 км/с для юго-восточной и северо-западной частей профиля соответственно (см. рис. 6, а).

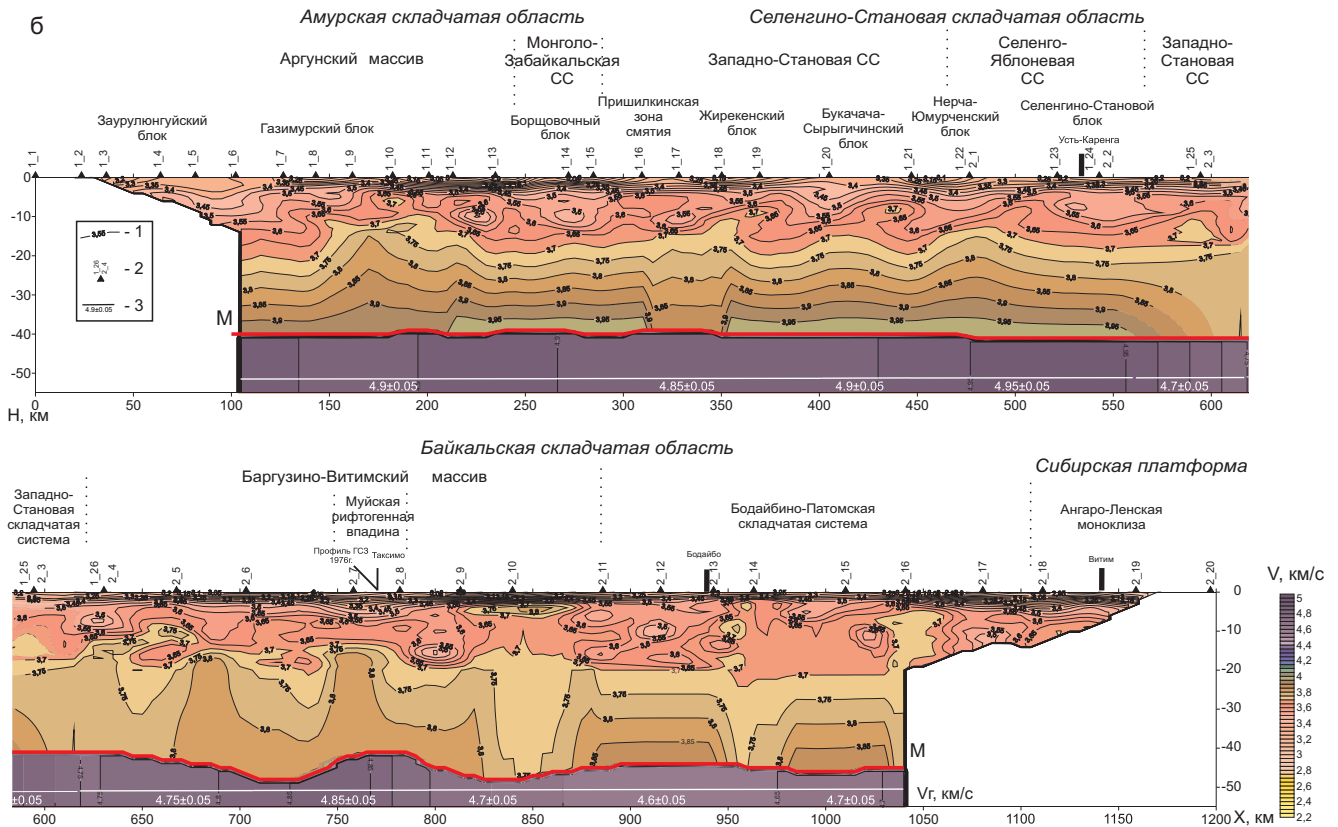
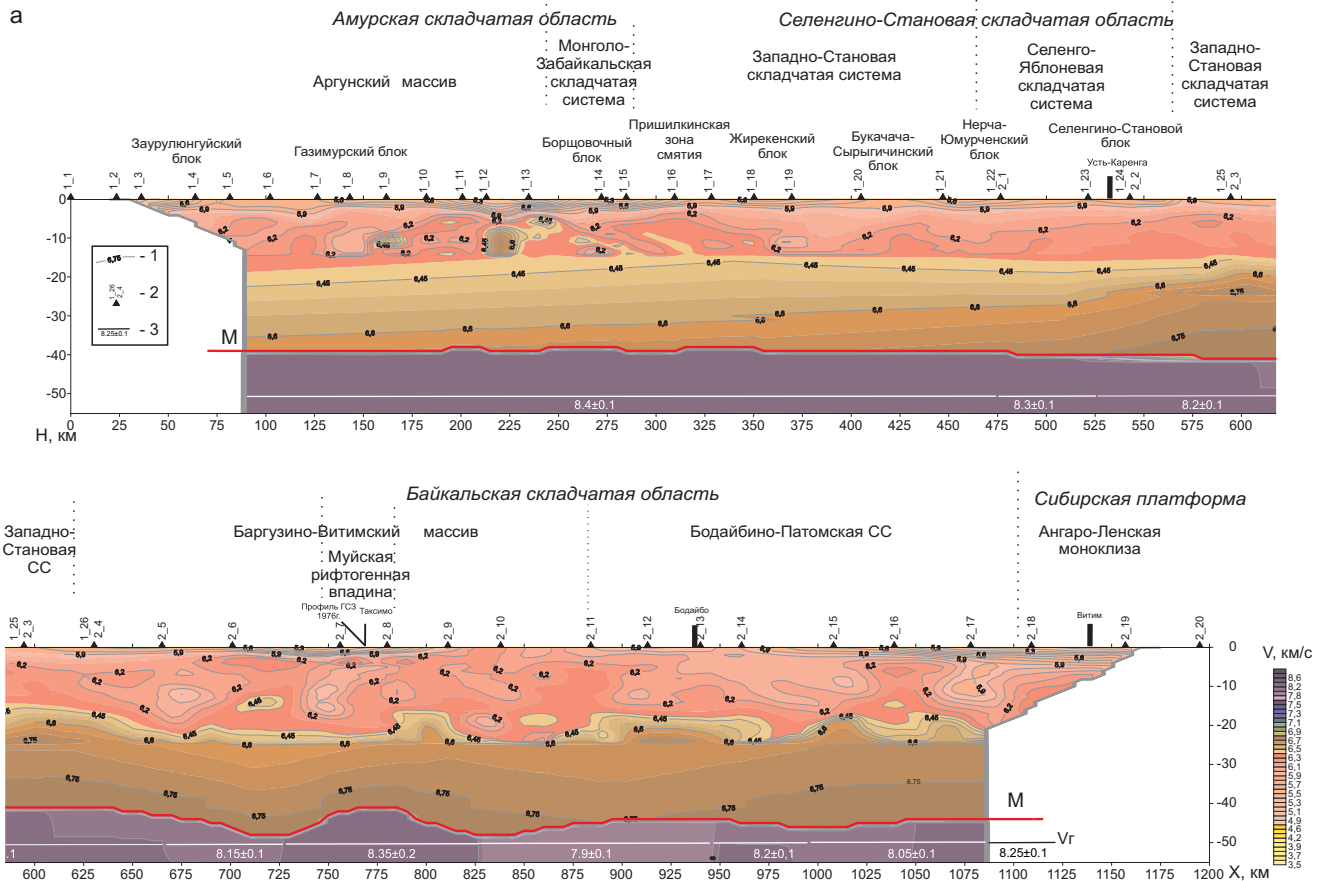
По данным S-волн выделяются зоны пониженных значений скорости ($\approx 3,4$ – $3,5$ км/с) в самой верхней части разреза на юго-востоке профиля в пределах Заурулюнгуйского, Борщовочного и южной части Сырыгинского тектонических блоков (см. рис. 6, б), зоны повышенных значений ($\approx 3,6$ – $3,7$ км/с) – в Газимурском блоке, Пришилкинской зоне, Жирекенском и Букачача-Сырыгинском блоках также на юго-востоке. В северо-западной его части наиболее высокими значениями скорости поперечных волн в верхней части земной коры (3,65–3,75 км/с) характеризуются высокогорные участки в пределах Селенга-Станового блока, Баргузино-Витимского массива и Патомского нагорья (см. рис. 6, б), пониженные значения скорости S-волн (3,0–3,3 км/с) установлены на участках межгорных впадин (Муйско-Кондинская впадина, 740–790 км и др.) и Ангаро-Ленской моноклизы. На глубинах 10–15 км скорость поперечных волн в целом по профилю возрастает до 3,65–3,75 км/с. Значения пластовой скорости S-волн в нижней части земной коры по профилю составляют 3,85–3,95 км/с в юго-восточной части профиля и 3,75–3,85 км/с – в северо-западной.

По соотношению скоростей Р- и S-волн в верхней коре профиля явно выделяются большие участки пониженных значений отношений V_p/V_s (1,60–1,70) (см. рис. 6, а). В самой верхней части земной коры это блоки: Заурулюнгуйский (30–60 км), Газимурский (100–210 км) и Букачача-Сырыгинский

(360–450 км на глубине 10–15 км). В северо-западной половине профиля участки с такими значениями на глубинах 3–25 км (640–870 км) пространственно совпадают с крупными хребтами: Южно- и Северо-Муйским, Каларским и Делюн-Уранским. Под двумя последними зоны пониженных отношений V_p/V_s расположены на меньших глубинах, чем под первыми. Между крупными хребтами в верхней части земной коры выделяются зоны повышенных отношений V_p/V_s (1,75–1,8). В Бодайбино-Патомской складчатой системы (930–1120 км) зоны пониженных отношений V_p/V_s (1,60–1,70) прослеживаются на небольших глубинах (3–10 км). На участке 875–925 км указанная система отделена от Баргузино-Витимского массива зоной повышенных отношений V_p/V_s (1,75–1,8), прослеживающейся до глубины 25 км. Распределение значений коэффициента Пуассона аналогично отношению V_p/V_s , но менее контрастно (см. рис. 6, б).

Прогноз рудных узлов по материалам ГСЗ на профиле 1-СБ

Одна из главных задач проведения опорных геолого-геофизических профилей в России – разработка предварительных глубинных прогнозно-поисковых критериев для выделения геологических структур, перспективных на обнаружение стратегических, благородных, остродефицитных и высоколиквидных видов минерального сырья на основе обработки новых и анализа ретроспективных геолого-геофизических материалов по опорному профилю. В работе [12] по результатам глубинных сейсмических исследований на опорных профилях на востоке России представлен анализ связи скоростных аномалий продольных и поперечных волн с известными и потенциальными рудопроявлениями. Принципиальная особенность совместного использования продольных и поперечных волн в случае изотропных глубинных объектов заключается в том, что в результате получается не один, как обычно, а два сейсмических образа изучаемой среды, найденных по соответствующим волнам разной поляризации. Эти исходные образы могут быть трансформированы в ряд вторичных образов на основе известных функциональных и корреляционных связей скоростей Р- и S-волн с искомыми параметрами среды [1, 8, 9, 13]. Одним из вторичных функциональных сейсмических образов, объединяющих данные по продольным и поперечным волнам, является распределение коэффициента Пуассона (σ), однозначно определяемого в рамках изотропной упругой модели по значениям скоростей Р- и S-волн на исходных разрезах. Коэффициент Пуассона – упругая деформационная характеристика, связанная с вещественным составом и степенью нарушенности кристаллических горных пород. Минимальные его значения обычно характерны для относительно хрупких, нарушенных трещинами пород с повышенным содержанием кварца [8]. Необходимо отметить, что



при традиционных исследованиях Р-волн функциональные параметры не могут быть найдены даже для изотропной модели, а корреляционные связи

только скорости V_p с другими параметрами среды, как правило, менее тесные, чем для пары значений V_p и V_s . По соотношению времен регистрации

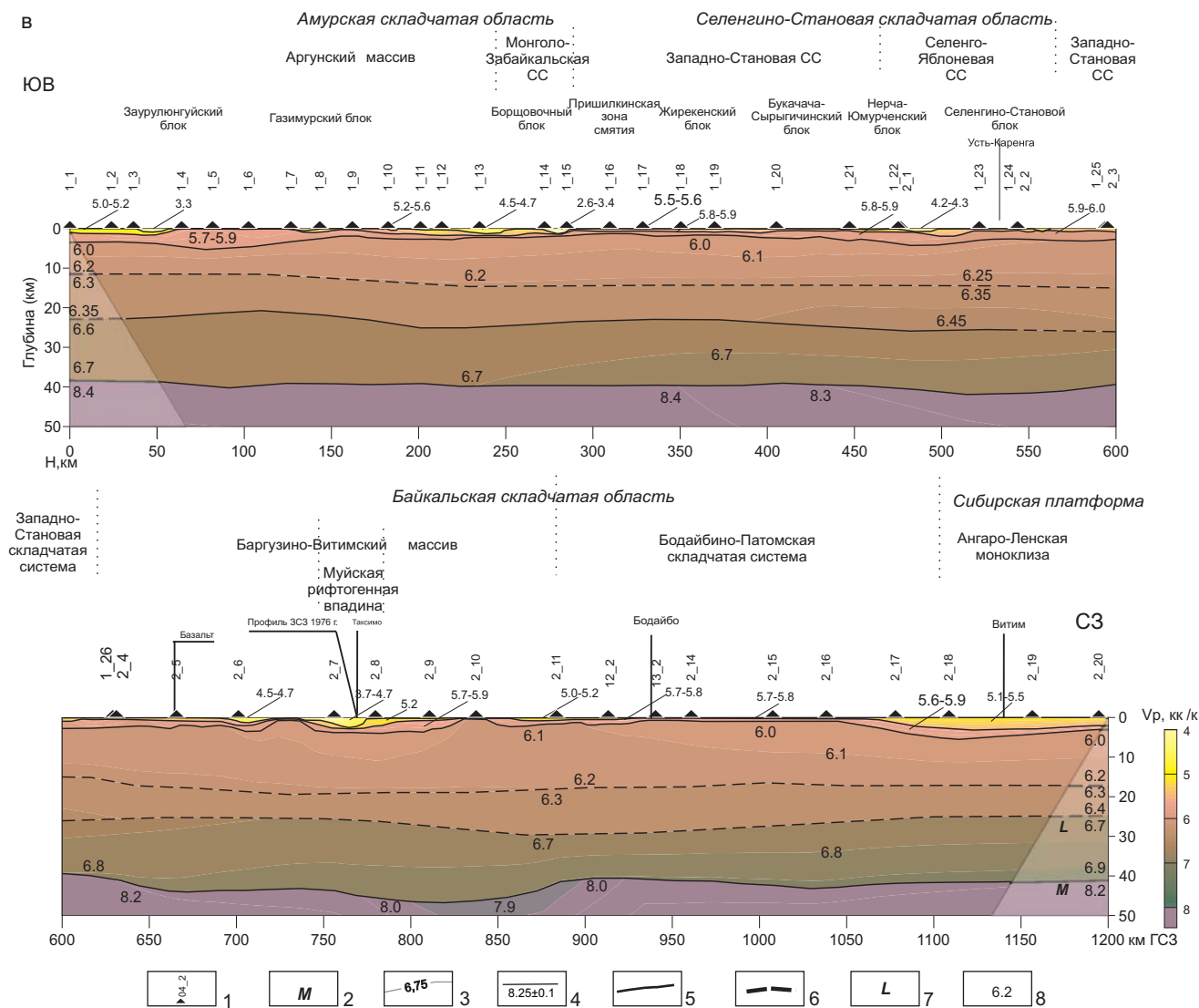


Рис. 6. Глубинные сейсмические разрезы по данным продольных (а) и поперечных (б) волн по профилю 1-СВ «Восточный» и сводная скоростная модель земной коры и верхней мантии по продольным волнам для профиля 1-СВ «Восточный», построенная решением прямой задачи методом лучевого моделирования (в)

1 – пункты взрыва: этап (1 – Забайкальский, 2 – Байкало-Патомский) и номер; 2 – подошва земной коры (поверхность Мохоровичича) (см. рис. 6, а, б); 3 – изолинии скорости, км/с; 4 – значения граничной скорости по границе Мохоровичича, км/с (см. рис. 6, в); границы, прослеживаемые: 5 – уверенно, 6 – неуверенно; 7 – кровля нижней коры; 8 – скорости продольных волн, км/с

P- и S-волн на малых удалениях (t_s/t_p), отношению скоростей продольных и поперечных волн (V_p/V_s) и коэффициенту Пуассона (σ) в верхней части разреза на профилях 2-ДВ, 2-ДВ-А и 3-ДВ был выделен ряд явно выраженных участков с пониженными ($<1,70$) значениями отношений t_s/t_p , V_p/V_s и коэффициентом Пуассона менее 0,25. Было отмечено [12], что практически все определенные таким способом участки совпали с известными зонами рудопроявлений. Прежде всего это блоки земной коры, в пределах которых размещены золото-серебряные месторождения. Пониженные отношения скоростей V_p/V_s и коэффициента Пуассона зависят от гранитоидов (кислые), с которыми чаще всего связаны золотоносные кварцевые жилы.

Подобный анализ связи скоростных аномалий продольных и поперечных волн с известными

и потенциальными рудопроявлениями был выполнен также на профиле 1-СВ. По соотношению времен регистрации P- и S-волн на малых удалениях (менее 50 км), отношений скоростей продольных и поперечных волн (на сводном разрезе) и коэффициента Пуассона в верхней части разреза на профиле выделены отчетливо выраженные участки с пониженными ($<1,70-1,73$) значениями t_s/t_p , V_p/V_s и $\sigma < 0,25$.

Участок 1 (25–60 км). Аномалия проявлена с самой поверхности и выделяется в центральной части Заурулюнградской [5, 17] или Приаргунской по данным сайта ВСЕГЕИ <http://www.vsegei.ru/ru/info/webmapget> (далее – сайта) и [16] флюоритово-урановой рудной минерагенической зоны. Согласно [5] вмещающие породы Заурулюнградского блока представлены раннепротерозойскими ри-

фейскими и позднепалеозойскими гранито-гнейсовыми породами, что подтверждается также значениями скоростей Р- и S-волн (примерно 5,8 и 3,4 км/с соответственно, см. рис. 6). Кислые породы с высоким содержанием кремнезема и определяют приуроченность к ним урановых месторождений [14].

Участок 2 (100–130 км). Аномалия более выражена на глубинах 3–5 км. В гранитогнейсах (со скоростями Р- и S-волн около 5,8 и 3,4 км/с соответственно) размещается Кличкинский флюоритово-полиметаллический (ураново-флюоритово-цинково-свинцовый) рудный район и Александрово-Заводской свинцово-цинковый рудный район [5, 17]. По данным с сайта и [16], выделенный участок находится в пределах Аргунской (или Приаргунской [16]) минерагенической рудной зоны (или субпровинции по [17]).

Участок 3 (160–180 км). Аномалия выражена с поверхности до глубин 5–6 км. В кислых гранитоидах участка размещены золото-молибденовые месторождения (Шахтинский золото-молибденово-рудный район) согласно [5] и данным с сайта. Находится в Аргунской [17] или Бугдая-Будюмуканской (по [16]) рудной минерагенической зоне (или субпровинции по данным с сайта).

Участки 4 (210–240 км) и 5 (255–280 км). Аномалии более выражены на глубинах 2–5 км (см. рис. 6). Ундинский блок представлен раннепротерозойскими метаморфизованными и магматическими породами (гранитогнейсы) [6]. Выделенные участки находятся в пределах Унда-Шилкинской полиметаллически-редкоземельно-золоторудной зоны согласно [6] и данным с сайта. Согласно [17] участки находятся в Аргунской и Борщовочной минерагенических зонах соответственно. В пределах участка 4 размещается Балейский сурьмяно-золоторудный узел, участка 5 – Усть-Карский свинцово-молибденово-золоторудный узел согласно [6] и данным с сайта.

Участок 6 (300–320 км) выделяется по локальным пониженным отношениям V_p/V_s и σ в самой верхней части разреза. Находится в центральной части Дарасун-Могочинской по [17] или Пришилкинской по [6] и данным с сайта сурьмя-медь-молибден-золоторудной минерагенической зоны. Вмещающие породы в верхней части разреза представлены гранито-гнейсами и гранодиоритами Бухточинского комплекса [6].

Участок 7 (380–410 км) выделяется по локальным пониженным отношениям V_p/V_s и σ в самой верхней части разреза. Аномалия пониженных значений отношения V_p/V_s и σ протягивается в юго-восточном направлении до больших глубин – 10–14 км (рис. 7). Пространственно выделенный участок нахо-

дится в западной части Жирекенского золото-медь-молибденоворудного района юго-западной части Дарасун-Могочинской [17] или Нерча-Олекминской по [16] минерагенической зоны. Вмещающие породы, согласно [6], представлены гранито-гнейсами и гранитами (массивными и гнейсовыми).

Участок 8 (430–440 км). Область пониженных значений V_p/V_s и σ прослеживается на глубинах от 2–3 до 8–10 км. Пространственно находится на границе Хилок-Витимской и Дарасун-Могочинской минерагенических зон [17]. Согласно [6] на поверхности в нижнепалеозойских гранитах и гранитогнейсах закартировано большое количество проявлений золота, вольфрама, молибдена, свинца, цинка, меди (в рудоконтактах гранитной интрузии). По данным с сайта, в западной части от выделенного участка закартирован Канталакский флюоритово-редкометалльный рудный район, а в восточной части – Нерчуганский ураново-редкометалльно-молибденоворудный район.

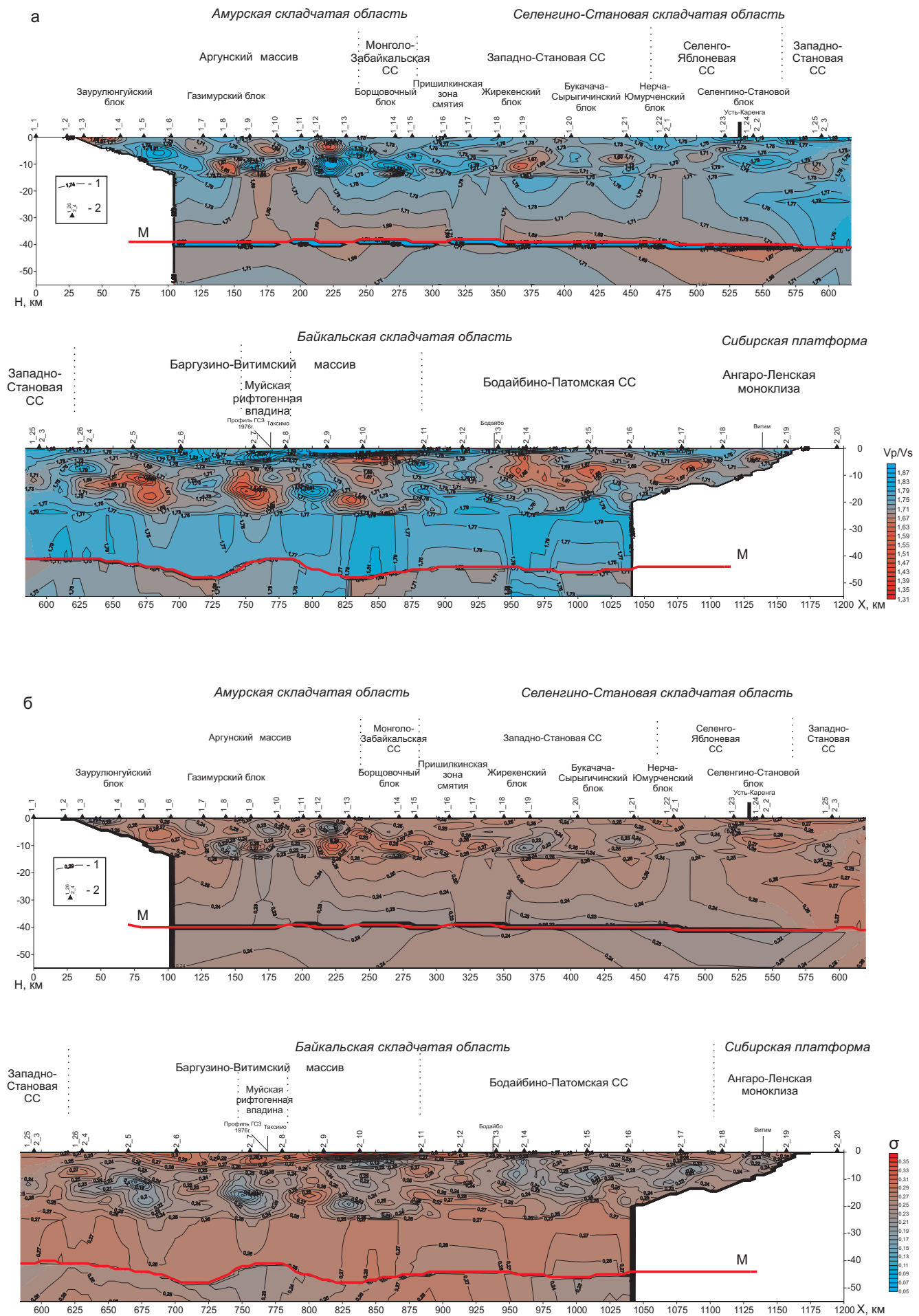
Участок 9 (520–535 км). Область пониженных значений V_p/V_s и σ прослеживается на юго-восток на глубине от 2–3 до 8–10 км (см. рис. 7). Расположен в центральной части Хилок-Витимской (по [17]) или Тунгино-Витимской вольфрам-серебро-золото-молибденово-рудной минерагенической зоне (по данным с сайта). В центральной части [16] находится Ореkitканский молибденоворудный район Нерча-Олекминской рудной зоны. Вмещающие породы, согласно [6], представлены гранитами массивными и гнейсовыми.

Участок 10 (640–660 км, максимальное до 680 км). Область пониженных значений V_p/V_s и σ прослеживается с глубин 2–3 км практически до средней коры (см. рис. 7). Более широкая зона (640–680 км) выделяется по данным отношений времен $t_s/t_p < 1,7–1,73$ (на удалениях менее 50 км); на этих удалениях лучи Р- и S-волн проникают уже на глубины 5–10 км. Выделенный участок находится в пределах Амалатской минерагенической зоны с железорудной и молибденовой минерализацией [17]. Он входит в Муйскую ртутно-асбестово-золотоносную минерагеническую зону (по [16]) или в Муйскую молибденово-вольфрамово-золоторудную минерагеническую зону (по данным с сайта).

Участок 11 (730–795 км). По отношениям $t_s/t_p < 1,7–1,73$ выделяется широкая зона (730–795 км). На этих удалениях лучи Р- и S-волн проникают уже на глубины 5–10 км, где выделяется область пониженных значений $V_p/V_s < 1,73$ и коэффициента Пуассона ($< 0,25$), которая прослеживается практически до средней коры (см. рис. 7, а, б). В самой верхней части разреза лишь на локальном участке (730–745 км) выделяется зона с падением значения отношений V_p/V_s до 1,75 и менее и σ – до

Рис. 7. Распределение отношений скоростей Р- и S-волн (а) и коэффициента Пуассона (б) в земной коре и верхней мантии на профиле 1-СБ

1 – изолинии скорости, км/с; 2 – пункты взрыва: номер этапа (1 – Забайкальский, 2 – Байкало-Патомский) и номер ПВ





0,26 и менее сравнительно с окружающими участками в верхней части разреза (см. рис. 7, а, б). По данным ГСЗ и КМПВ практически с самой поверхности в рассматриваемой зоне прослеживаются высокие скорости Р- и S-волн (5,9–6,0 и 3,3–3,4 км/с соответственно). Пространственно выделенный широкий «аномальный» участок находится в пределах Келянской и Муйской золото-серебряно-олово-титаново-рудной зоны [16, 17]. Оруденение Келяно-Мудириканского асбесто-золоторудного района в этой зоне связывается с отдельными массивами (штоками) гранитоидов конкудеро-мамаканского комплекса и представляет собой достаточно крупные минерализованные (молибденит и шеелит) штокверки с преобладанием молибденовой или вольфрамовой минерализации согласно [6] и данным с сайта. Участок 735–745 км находится в пределах крупного Ирокиндинского месторождения золота. Рудное поле месторождения сложено дислоцированными гнейсами, кальцифирами и ортоамфиболитами киндиканской толщи архея – раннего протерозоя и позднерифейскими гнейсоплагиогранитами, лейкократовыми гранитоидами бамбукойского комплекса, прорванными дорудными и синрудными дайками диорит-гранитной серии и пострудными дайками диабазов согласно тем же источникам. Исходя из сейсмических данных (см. рис. 6, 7), можно предположить, что выделяемое на поверхности золоторудное месторождение является малой частью основного рудного тела, сосредоточенного в гранито-гнейсовых породах на больших глубинах.

Участок 12 (835–865 км). Область пониженных значений V_p/V_s и σ прослеживается с глубин около 2 км практически до средней коры (см. рис. 7, а, б). В самой верхней части разреза отмечаются высокие скорости Р-волн (6,0 км/с) и несколько пониженные S-волн ($\approx 3,0$ –3,1 км/с). Пространственно выделенный «аномальный» участок находится в пределах Мамаканской золото-свинцовой рудной зоны (по [17]) или в Каалу-Келянском ртутно-золоторудном районе (по данным с сайта).

Участки 10, 11 и 12, выделенные по распределению V_p/V_s и σ , имеют похожую конфигурацию (прослеживание аномально низких значений V_p/V_s и σ практически от поверхности до глубины около 20 км) и пространственно совпадают с выделяемой исследователями Муйской ртутно-асбестово-золотоносной минерагенической зоной Байкало-Витимской субпровинции [16].

Участок 13 (950–985 км). Крупная область пониженных значений V_p/V_s и σ прослеживается практически с поверхности (примерно с 1–1,5 км) до глубин свыше 10 км (см. рис. 7, а, б). Пространственно выделенная область совпадает с Бодайбинской и Мамской золоторудными минерагеническими зонами [17]. Согласно [16] в непосредственной близости от выделенной области находится Бодайбинский платино-золоторудно-россыпной район Мам-

ско-Бодайбинской минерагенической зоны Байкало-Патомской субпровинции – самый продуктивный в отношении золоторудного и платинометалльного оруденения. Месторождения представлены малосульфидным золото-кварцевым типом. В северо-западной части выделенной области профиль 1-СБ «Восточный» пересекает Северо-Мамский мусковитовый рудный район Мамско-Чуйской минерагенической зоны согласно [6] и данным с сайта. Основу минерагении составляют промышленные месторождения мусковита и полевошпатового сырья в пегматитах раннепалеозойского мамского комплекса.

Участок 14 (1000–1050 км). Область пониженных значений отношений t_s/t_p и V_p/V_s и σ прослеживается практически с поверхности почти до глубин 10 км (см. рис. 7, а, б). Пространственно совпадает с Чуйско-Тонодской золото-редкометалльно-урано-железородной минерагенической зоной Байкало-Патомской субпровинции [16, 17]. В состав ее раннекембрийских образований входят кристаллические породы архея – нижнего карелия (чуйская толща), нижнекарельские вулканогенно-осадочные отложения, прорванные позднекарельскими интрузиями гранитоидов (чуйско-нечерский комплекс). Они с резким несогласием перекрыты отложениями нижнего рифея (пурпольская свита), среднерифейскими образованиями медвежьевской свиты и прорваны малыми субвулканическими телами медвежьевского вулканического и гранитоидов язовского комплексов по данным с сайта ВСЕГЕИ. На рис. 7 видно, что зона пониженных значений V_p/V_s ($<1,7$) и σ ($<0,25$) на глубинах 4–10 (и до 12) км прослеживается в северо-западном направлении практически до 1100 км, расширяя область Байкало-Патомской субпровинции [3].

Участок 15 (1130–1145 км). Выделяется по локальным пониженным отношениям V_p/V_s и σ в самой верхней части разреза до глубин 3–5 км. По пониженным значениям t_s/t_p выделяемый участок несколько шире – 1175 км. Пространственно выделенная область совпадает с Витимской золоторудной минерагенической зоной [17].

Таким образом, основная часть выделенных участков на профиле совпадает с известными зонами рудопроявлений. Гранито-гнейсы, гранитоиды, гранодиориты, в которых размещены золотоносные кварцевые жилы и полиметаллические месторождения, являются причиной понижения здесь отношений V_p/V_s и коэффициента Пуассона ($<0,25$). Практически для всех выделенных участков 1–15 (см. рис. 6) отмечаются высокие скорости продольных и поперечных волн в верхней части разреза (в среднем 5,8 и 3,4 км/с соответственно). С использованием корреляционных зависимостей, установленных в работе [1] на основе данных измерений на образцах горных пород, были проведены расчеты количества кремнезема в залегающих выше гранитах и гранито-гнейсах. Формула для определения



процентного содержания кремнезема из работы [1] имеет следующий вид:

$$\sum \text{SiO}_2 = 152,4 - 20,82 V_p/V_s - 2,58K/\rho,$$

$$\text{где } K/\rho = V_p^2 - \frac{4}{3}V_s^2 \text{ км}^2/\text{с}^2.$$

Суммарное количество кремнезема составило 70 %, что отвечает кислым кристаллическим породам и подтверждает сделанные ранее выводы.

Установленные по результатам глубинных сейсмических исследований в верхней части разреза на профиле 1-СБ «Восточный» высокие значения отношений скоростей V_p/V_s и коэффициента Пуассона могут свидетельствовать об увеличении основности пород, если речь идет о кристаллических породах, либо о повышенной их мощности, если породы низкоскоростные осадочные. Анализ выделяемых на профиле зон повышенных значений V_p/V_s ($>1,74$) и σ ($>0,25$) в верхней части разреза показал связь этих участков как с изменением минерального состава метаморфических и магматических пород, так и с увеличением мощности низкоскоростных пород в самой верхней части разреза. Явную связь выделяемых на профиле зон повышенных значений V_p/V_s и σ (см. рис. 7) и приуроченности к ним конкретных месторождений удалось проследить лишь на отдельных участках. Например, в пределах Заурулюнгуйского блока на участке профиля 60–100 км с повышенными значениями картируются свинцово-цинковые месторождения (Бурунтайский свинцово-цинковый рудный узел) [5, 16]. Подобные месторождения так называемого приаргунского типа в юго-восточном Забайкалье располагаются в пределах мезозойского вулканоплутонического пояса, сформировавшегося на фундаменте Аргунского эпигерцинского массива [14]. Особенность месторождений заключается в том, что они размещаются преимущественно в фундаменте, сложенном породами углисто-кремнисто-карбонатной формации и, в меньшей степени, в вулканитах позднеюрской трахириолит-трахиандезитовой формации. В ряде случаев эти и подобные им месторождения выделяются в самостоятельную группу метасоматических залежей свинцово-цинковых руд в карбонатных породах [14]. Для последних более закономерны повышенные значения V_p/V_s и коэффициента Пуассона. Выделяемая в верхней части разреза на участке профиля 60–100 км [5] мощная толща мезозойских осадочных отложений – причина повышенных значений V_p/V_s и σ . Наличие свинцово-цинковых месторождений на участках с пониженными значениями этих параметров (к примеру, участок 2) и в присутствии золото-серебряных и полиметаллических месторождений обусловлено тем, что мощность карбонатных пород понижена, как следует из геологического разреза верхней части земной коры [5].

Другая зона с повышенными отношениями указанных параметров, к которой приурочен рудный узел, – участок 460–500 км. В пределах участка вы-

деляется Канталакский флюорит-танталовый рудный район Тунгокоченской флюорит-тантал-ниобиевой минерагенической зоны [6]. Верхняя часть земной коры здесь представлена гранитами массивными, гранодиоритами, гранитогнейсами, насыщенными щелочно-гранит-сиенитовыми интрузиями [6].

Еще одной такой зоной является участок 1050–1125 км, в пределах которой выделяется Витимский железорудный район, приуроченный к зоне перехода от Чуйского к Тонодскому поднятиям и характеризующийся развитием железоносных осадочно-вулканогенных образований медвежевского комплекса и зон приразломных метасоматитов в надвиговых дислокациях Чуйского глубинного разлома. Стратифицированные и метасоматические руды железистых кварцитов района рассматриваются в качестве резервной минерально-сырьевой базы железа Восточной Сибири [3].

Менее четкая приуроченность отмечается для других участков с повышенными отношениями значениями V_p/V_s и σ в пределах профиля. В целом же для всех таких прослеживаемых участков (см. рис. 7) в пределах профиля 1-СБ «Восточный» при относительно высоких скоростях Р-волн, соответствующих кристаллическим породам, значения скоростей поперечных волн (см. рис. 6, б) уменьшены по сравнению с таковыми на выделенных участках 1–15. Это может свидетельствовать о повышении основности слагающих разрез горных пород. Расчеты содержания кремнезема SiO_2 для этих пород по приведенной ранее формуле при средних значениях скоростей Р- и S-волн 5,7 и 3,1 км/с соответственно дают значение около 63 %, что отвечает средним породам. Для отдельных участков профиля (в большей мере для северо-западной части профиля) повышение отношения V_p/V_s и коэффициента Пуассона в самой верхней части разреза может быть обусловлено также наличием низкоскоростных осадочных отложений, например в районе Муйско-Кондинской впадины (участок пос. Таксимо на рис. 6).

Учитывая определенную размытость выделяемых зон по данным ГСЗ, связанную с осреднением на больших базах, в дальнейшем необходимо привлечь более детальные материалы КМПВ с высокой плотностью наблюдений. Опыт исследований на профиле 3-ДВ показал, что данные КМПВ коррелируют с материалами ГСЗ и позволяют более детально картировать зоны с пониженными отношениями V_p/V_s . К таким зонам приурочены золото-серебряные платиноидные и урановые месторождения и др.

Выводы

Определены особенности глубинного сейсмического строения Забайкалья по данным разнополяризованных Р- и S-волн на опорном 1200-километровом геофизическом профиле 1-СБ «Восточный». Выявлено значительное изменение мощности земной коры вдоль профиля (от 40 до 48 км), сильное



изменение граничной скорости продольных волн по границе М (7,9–8,5 км/с) и менее сильное – поперечных волн (4,6–4,9 км/с). Во всей толще земной коры скорости Р- и S- волн составляют 6,4–6,5 и 3,65–3,75 км/с соответственно.

Установлено неоднородное строение верхней части земной коры до глубин 15–20 км по соотношению скоростей Р- и S-волн и коэффициенту Пуассона. В верхней части земной коры в пределах профиля выделено 15 протяженных участков с пониженными значениями указанных параметров (>1,70–1,73 и >0,25 соответственно). Основная часть этих участков на профиле совпадает с известными зонами рудопроявлений – золото-серебряными, полиметаллическими и урановыми месторождениями в гранитоидных, гранитоидах и гранодиоритах.

Полученная новая дополнительная информация о глубинном строении слабо изученной территории Прибайкалья и Забайкалья чрезвычайно полезна для обоснования современной глубинной геофизической модели земной коры и верхней мантии региона, прогноза металлогении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алейников А. Л., Немзоров Н. И., Кашубин С. Н. Способ определения типа горных пород по сейсмическим данным: а. с. SU1642416 А1 кл. G 01 V1/30, 15.04.1991.

2. Глубинное строение Забайкальского участка Центрально-Азиатского складчатого пояса по данным ГСЗ (в створе опорного профиля 1-СБ) / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. С. Сальников и др. // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2017. – № 4. – С. 91–103.

3. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Северо-Восточной Евразии / С. Н. Кашубин, О. В. Петров, Е. Д. Мильштейн и др. // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 76. – С. 9–21.

4. Глубинные сейсмические исследования на Байкало-Патомском фрагменте Восточного участка опорного профиля 1-СБ / В. М. Соловьев, А. С. Сальников, В. С. Селезнев и др. // Интерэкспо Гео-Сибирь-2017. Т. 3. – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. – С. 106–112.

5. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение): объяснительная записка. Серия Алдано-Забайкальская. Лист М-50 – Борзя / ред. В. В. Старченко. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. – 553 с.

6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. М-б 1:1 000 000 (третье поколение). Серия Алдано-Забайкальская. Лист N-50 – Сретенск / ред. В. Е. Руденко, В. В. Старченко. – СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. – 377 с.

7. Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин / Ю. М. Эринчек, А. В. Липилин, Р. Б. Сержантов и др. // Геофизические методы исследования земной коры: матер. Всерос. конф., посвя-

щенной 100-летию со дня рождения акад. Н. Н. Пузырева (Новосибирск, 8–13 декабря 2014 г.). – Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2014. – С. 282–288.

8. 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.

9. Деформационно-прочностное районирование земной коры Алтае-Саянской складчатой области / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. Д. Дучков, А. В. Лисейкин // Проблемы сейсмологии III тысячелетия: матер. междунар. конф. – Новосибирск, 2003. – С. 332–337.

10. 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.

11. 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 и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – № 4. – С. 74–86.

12. К использованию поперечных волн на опорных профилях на Востоке России / В. М. Соловьев, В. С. Селезнев, А. С. Сальников и др. // Интерэкспо Гео-Сибирь-2015. Т. 2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2015. – С. 243–247.

13. Кашубин С. Н. Сейсмическая анизотропия и эксперименты по ее изучению на Урале и Восточно-Европейской платформе. – Екатеринбург: УрО РАН, 2001. – 182 с.

14. Месторождения металлических полезных ископаемых // В. В. Авдонин, В. Е. Бойцов, В. М. Григорьев и др. – М.: Академический проект, 2005. – С. 198–205.

15. Недра Байкала (по сейсмическим данным) / ред. Н. Н. Пузырев. – Новосибирск: Наука, 1981. – 105 с.

16. Прогнозно-минерагеническая карта России м-ба 1:2 500 000 как отражение прогнозно-поисковой эффективности региональных геологических исследований / О. В. Петров, А. Ф. Морозов, А. В. Молчанов и др. // Региональная геология и металлогения. – 2017. – № 70. – С. 5–16.

17. Схема металлогенического районирования России. М-б 1:5 000 000 // ред. Н. В. Межеловский; сост. Г. С. Гусев. – М.: ИМГРЭ, 2002. – 162 с.

REFERENCES

1. Aleynikov A.L., Nemzorov N.I., Kashubin S.N. *Sposob opredeleniya tipa gornyx porod po seysmicheskim dannym* [The way to determine a type of rocks on seismic data]. Certificate of authorship SU1642416 A1 cl. G 01 V1/30, 15.04.1991. (In Russ.).

2. Solovyev V.M., Seleznev V.S., Salnikov A.S., et al. [The use of effective seismic medium models in DSS operations on base lines in the Eastern part of Russia]. *Geologiya i mineral'no-syryevye resursy Sibiri – Geology*



and mineral resources of Siberia, 2014, no. 4, pp. 74–86. (In Russ.).

3. Kashubin S.N., Petrov O.V., Milshteyn E.D., et al. [The deep structure of the earth's crust and upper mantle of Northeastern Eurasia]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2018, no. 76, pp. 9–21. (In Russ.).

4. Solovyev V.M., Salnikov A.S., Seleznev V.S., et al. [Deep seismic studies on the Baikal-Patom fragment of the Eastern section of the base line 1-SB]. *Interexpo Geo-Sibir* [Interexpo Geo-Siberia]. 2017, vol. 3, pp. 106–112. (In Russ.).

5. Starchenko V.V., ed. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii m-b 1:1000 000 (tret'e pokolenie): ob'yasnitel'naya zapiska. Seriya Aldano-Zabaykal'skaya. List M-50 – Borzya* [State geological map of the Russian Federation, scale 1: 1 000 000 (third generation): explanatory note. Aldan-Transbaikal Series. Sheet M-50 – Borzya]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2010. 553 p. (In Russ.).

6. Rudenko V.E., Starchenko V.V., eds. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1 000 000 (tret'e pokolenie). Seriya Aldano-Zabaykal'skaya. List: N-50 (Sretensk)*. [State geological map of the Russian Federation, scale 1: 1 000 000 (third generation). Aldan-Transbaikal Series. Sheet: N-50 (Sretensk)]. Saint Petersburg, VSEGEI Publ., 2010. 377 p. (In Russ.).

7. Erinchek Yu.M., Lipilin A.V., Serzhantov R.B., et al. [State network of base geological and geophysical lines, parametric and ultradeep wells]. *Sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu akademika N.N. Puzyreva* [Collection of reports 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.).

8. Krylov S.V., Mishenkin B.P., Mishenkina Z.R., et al. *Detal'nye seismicheskie issledovaniya litosfery na R-i S- volnakh* [Detailed P- and S-wave seismic studies of the lithosphere]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1993. 199 p. (In Russ.).

9. Solovyev V.M., Seleznev V.S., Duchkov A.D., Liseykin A.V. [Deformation-strength zoning of the Earth's crust of the Altai-Sayan folded region]. *Problemy seismologii III tisyacheletiya. Materialy mezhdunarod-*

noy konferentsii [Problems of seismology of the III Millennium. Proceedings of the international conference]. Novosibirsk, 2003, pp. 332–337. (In Russ.).

10. 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. 594–611.

11. 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'no-syryevye resursy Sibiri – Geology and mineral resources of Siberia*, 2014, no. 4, pp. 74–86. (In Russ.).

12. Solovyev V.M., Seleznev V.S., Salnikov A.S., et al. [To the use of transverse waves on the base lines in the East of Russia]. *Interexpo Geo-Sibir'-2015*. [Interexpo Geo-Siberia-2015]. Novosibirsk, SGUGiT Publ., 2015, vol. 2, pp. 243–247. (In Russ.).

13. Kashubin S.N. *Seismicheskaya anizotropiya i eksperimenty po ee izucheniyu na Urale i Vostochno-Evropeyskoy platforme* [Seismic anisotropy and experiments on its study in the Urals and the East European Platform]. Ekaterinburg, Ural Branch of the RAS Publ., 2001. 182 p. (In Russ.).

14. Avdonin V.V., Boytsov V.E., Grigoryev V.M., Seminskiy Zh.V., et al. *Mestorozhdeniya metallicheskih poleznykh iskopaemykh* [Metallic mineral deposits]. Moscow, Akademicheskii projekt Publ., 2005, pp. 198–205. (In Russ.).

15. Puzyrev N.N., ed. *Nedra Baykala (po seismicheskim dannym)* [Baikal subsoil (according to seismic data)]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1981. 105 p. (In Russ.).

16. Petrov O.V., Morozov A.F., Molchanov A.V., et al. [The forecast-minerogenic map of Russia of 1: 2,500,000 scale as a reflection of the forecasting and exploration efficiency of regional geological research]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2017, no. 70, pp. 5–16. (In Russ.).

17. Mezhelovskiy N.V., ed. *Prognozno-minerogenicheskaya karta: Skhema metallogenicheskogo rayonirovaniya Rossii, masshtab: 1:5 000 000* [Forecast-minerogenic map: Scheme of metallogenetic zoning of Russia, scale 1: 5,000,000. Moscow, IMGRE Publ., 2002. 162 p. (In Russ.).

© В. М. Соловьев, Н. А. Галёва, А. С. Сальников, В. С. Селезнев, А. В. Лисейкин, Т. В. Кашубина, Д. В. Вяткина, 2019