

## **ОСОБЕННОСТИ СЕЙСМИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ВЕРХНЕЙ КОРЫ СЕЛЕНГИНО-СТАНОВОЙ И АМУРСКОЙ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ ПО ДАННЫМ РАЗНОПОЛЯРИЗОВАННЫХ P- И S- ВОЛН (В СТВОРЕ ОПОРНОГО ПРОФИЛЯ 8-ДВ)**

### ***Виктор Михайлович Соловьев***

Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3, кандидат геолого-минералогических наук, заместитель директора, тел. (383)330-75-68, e-mail: solov@gs.nsc.ru

### ***Александр Сергеевич Сальников***

АО «Сибирский институт геологии, геофизики и минерального сырья», 630091, Россия, г. Новосибирск, Красный проспект, 67, доктор геолого-минералогических наук, заведующий отделом сейсморазведки, тел. (383)230-94-76, e-mail: seispv@sniiggims.ru

### ***Виктор Сергеевич Селезнев***

Сейсмологический филиал ФИЦ ЕГС РАН, директор, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга 3, тел. (383)333-20-21, e-mail: svsv0428@mail.ru

### ***Татьяна Викторовна Кашубина***

Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского, 199106, Россия, г. Санкт-Петербург, Средний проспект ВО, 74, начальник отдела, тел. (812)328-92-715, e-mail: Tatiana\_Kashubina@vsegei.ru

### ***Наталья Александровна Галева***

Алтае-Саянский филиал ФИЦ ЕГС РАН, 630090, Россия, проспект Академика Коптюга 3, научный сотрудник, тел. (383)330-75-68, e-mail: tatapelya@gmail.com

Представлены результаты глубинных сейсмических исследований по данным P- и S-волн на Восточно-Становом фрагменте опорного 700-километрового геофизического профиля 8-ДВ. Построены глубинные сейсмические разрезы верхней коры (до глубин 20 км) с распределением скоростей продольных и поперечных волн. Скорости P- волн в верхней части разреза изменяются от 4-5 км/с в пределах Верхне-Зейской и Амуро-Зейской впадин до 5.5-6.0 км/с в пределах горных хребтов и плоскогорий; на глубинах 10-20 км в створе профиля выделяются линзы высокоскоростных пород до 6.7-7.0 км/с. По S- волнам в верхней части разреза значения скорости составляют в целом 3.0-3.2 км/с; пониженные значения скорости в 2.5-2.6 км/с отмечается на участке Верхне-Зейской впадины. На глубинах 5-20 км в пределах разреза по данным поперечных волн выделяется ряд участков с пониженными и повышенными значениями скорости, соответственно до 3.4-3.5 км/с и 3.75-3.8 км/с. Проведена корреляция выделенных аномалий по данным P-и S-волн с структурно-тектоническими зонами.

**Ключевые слова:** профиль ГСЗ, продольные и поперечные волны, скорости P- и S-волн и их отношения, глубинный сейсмический разрез, земная кора

## TO STUDY THE POSSIBILITIES OF USING THE SEISMOLOGICAL NETWORK OF THE ALTAI-SAYAN REGION FOR REGIME VIBRO-SEISMIC OBSERVATIONS

*Victor M. Solovyev*

Altai—Sayan Branch of the FRC UGS RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave. PhD, Deputy Director, tel. (383)330-75-68, e-mail: solov@gs.nsc.ru

*Alexander S. Salnikov*

AO «Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources», Russia, 630091, Novosibirsk, Krasnyi Pr., 67, DSc, Head Of Seismic Prospecting Department, tel. (383)230-94-76, e-mail: seispv@sniiggims.ru

*Viktor S. Seleznev*

Seismological Branch of the FRC UGS RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., DSc, director, tel. (383)333-20-21, e-mail: svsv0428@mail.ru

*Tatyana V. Kashubina*

All-Russian Scientific Research Geological Institute named after A. P. Karpinsky, 199106, Russia, Saint Petersburg, Sredny prospekt VO, 74, head of department, tel. (812)328-92-715, e-mail: Tatiana\_Kashubina@vsegei.ru

*Natalya A. Galyova*

Altai—Sayan Branch of the FRC UGS RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptyuga Ave., Researcher, tel. (383)333-25-35, e-mail: tatapelya@gmail.com

The results of deep seismic studies based on P - and S-wave data on the East-Stanov fragment of the reference 700-kilometer geophysical profile 8-DV are presented. Deep seismic sections of the upper crust (up to a depth of 20 km) with the distribution of the velocities of longitudinal and transverse waves are constructed. The P - wave velocities in the upper part of the section vary from 4-5 km / s within the Upper Zeya and Amur-Zeya depressions to 5.5-6.0 km/s within mountain ranges and plateaus; at depths of 10-20 km, lenses of high-velocity rocks up to 6.7-7.0 km/s are distinguished in the profile alignment. According to the S - waves in the upper part of the section, the velocity values are generally 3.0-3.2 km/s; reduced velocity values of 2.5-2.6 km / s are observed in the Upper Zey depression. At depths of 5-20 km within the section, according to the transverse wave data, a number of sections with reduced and increased velocity values are distinguished, respectively, up to 3.4-3.5 km/s and 3.75-3.8 km/s. The correlation of the selected anomalies according to the data of P- and S-waves is carried out.

**Keywords:** DSS profile, longitudinal and transverse waves, P - and S-wave velocities and their ratios, deep seismic section, earth's crust

### *Введение*

Профиль 8-ДВ, наряду с профилями 2-ДВ, 3-ДВ и 1-СБ, является опорным геолого-геофизическим профилем, выполняемым по заказу Роснедра на территории Востока России. В задачу исследований опорных профилей, включающих работы методами ОГТ, ГСЗ и МТЗ, входит получение детальной фундаментальной геолого-геофизической информации о строении и динамике недр [2]. Представленные ниже исследования направлены на сейсмическое изучение верхней коры по данным разнополяризованных Р-и S-волн Восточно-Станового

фрагмента профиля 8-ДВ в пределах Селенгино-Становой и Амурской складчатых областей (рис. 1).

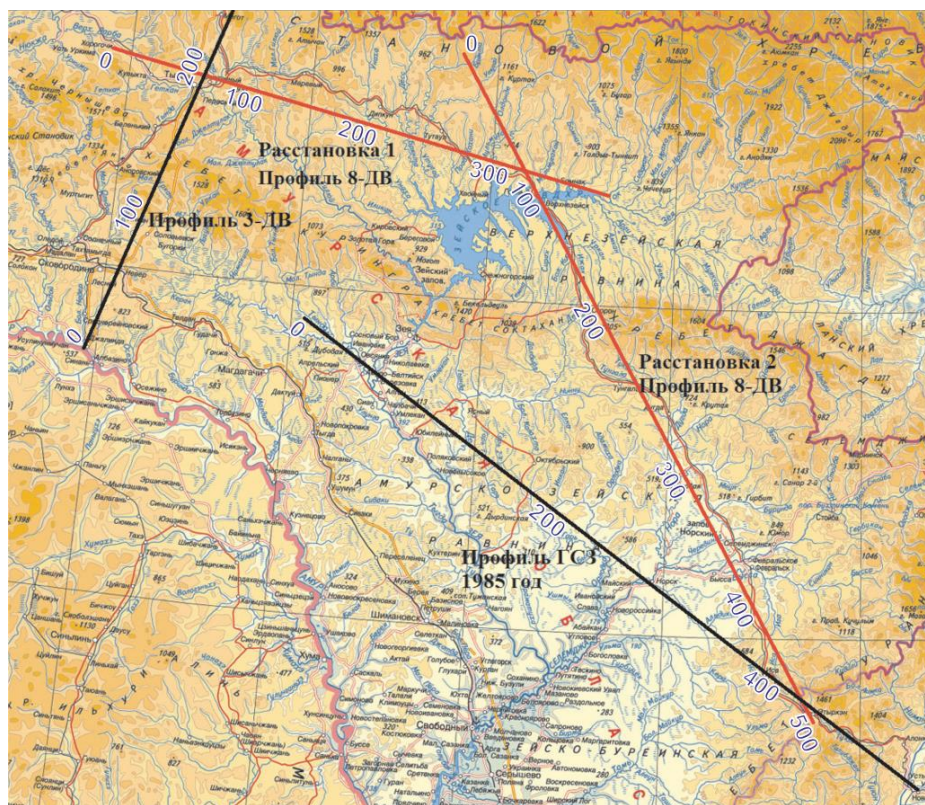
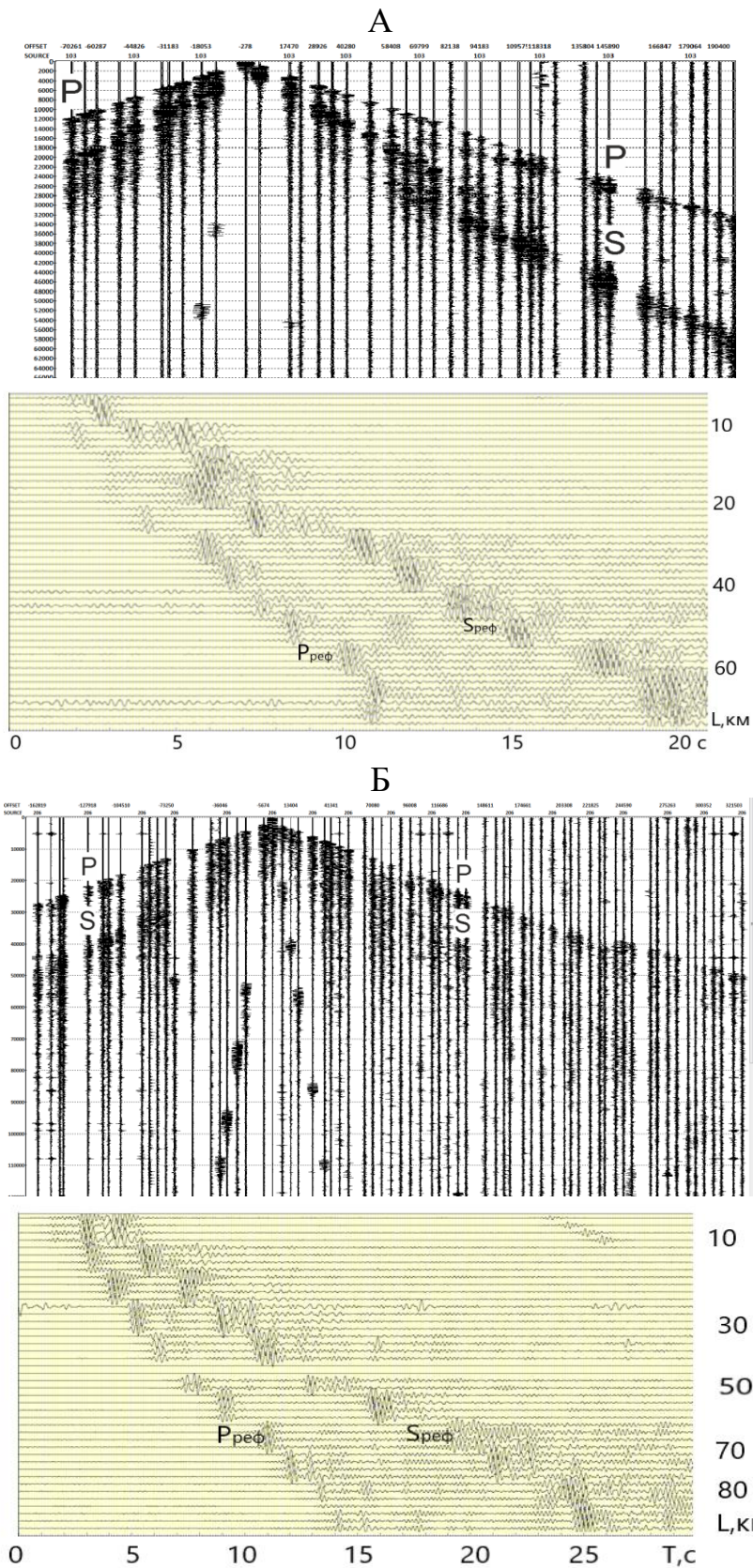


Рис. 1. Схема сейсмических исследований на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ.

### ***Волновое поле P- и S-волн на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ***

Полевые исследования на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ выполнялись по методике точечных зондирований [3, 6] на двух расстановках: Ларба – Бомнак (1) и Верхнезейск – Ульма (2) протяженностью соответственно в 390 и 500 километров (Рис. 1). Расстояния между источниками возбуждения (взрывы в неглубоких водоемах и болотах зарядов весом 3- 5 тонн) на расстановках 1 и 2 составляли 20-40 км, между станциями с вертикальными приборами от 5 до 8 км и между трехкомпонентными сейсмографами (GS-One) – 20 км. Ниже, на рисунке 2, представлены примеры волнового поля рефрагированных P- и S-волн (на удалениях 0-180 км от источников), освещающих верхнюю кору Восточно-Станового фрагмента. В пределах расстановок 1 и 2 скорости P-волн в первых вступлениях на удалениях 0–15 км в целом изменяются от 2.7-2.8 км/с до 5.5-5.7 км/с. Наиболее высокими значениями скорости продольных волн на фрагментах профиля 8-ДВ характеризуются участки высокогорных хребтов и плоскогорий. На расстановке 1 это участки  $X=20-70$  км,  $X=220-320$  км; на расстановке 2 –  $X=0-100$  км,  $X=200-300$  км и  $X=450-500$  км.



1. Рис. 2. Примеры волнового поля P- и S-волн на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ. А, Б – сводные динамические годографы на расстояниях 1 (с ПВ103 и ПВ102) и 2 (с ПВ206 и ПВ201).

Наиболее низкие значения скорости Р-волн в 2.7-2.8 км/с установлены на расстановке 2 в зоне Верхнезейского водохранилища ( $X=120-190$  км); пониженные значения скорости в 4.4-5.0 км/с отмечены также в юго-восточной части расстановки 2 ( $X=350-450$  км) (рис. 2). На базах свыше 15 км и до удалений 100-150 км скорость продольных волн по основной массе годографов возрастает незначительно, примерно до 6.0 - 6.2 км/с и редко до 6.3 км/с. На ряде годографов расстановки 2 в центральной части на удалениях в 150-180 км значения кажущейся скорости увеличиваются до 6.4-6.6 км/с. В пределах расстановки 2 с ряда источников возбуждения на участке  $X=150-200$  км в пределах всех удалений отмечены изломы годографов, характеризующие низкие скорости волн в первых вступлениях (от 2.7-2.8 км/с на самых малых удалениях до 5.0-5.4 км/с на удалениях до 130-180 км), что обусловлено низкоскоростными неоднородностями в верхней части разреза Верхнезейского водохранилища.

В последующих частях записей поля продольных волн менее уверенно на вертикальных приборах (без частотной фильтрации) выделяется поле поперечных аналогов (верхние годографы на рис. 2А и 2Б); применение низкочастотной фильтрации улучшает выделение поперечных волн (нижние годографы на рис. 2А и 2Б). Наиболее представительный материал получен по данным преломленных (рефрагированных) поперечных волн от границ в земной коре на удалениях 0-100 км (рис. 2). По сравнению с продольными волнами S-волны имеют повышенные в 1.5-2 раза времена регистрации, пониженные видимые частоты и кажущиеся скорости на сейсмограммах. В целом качество записей S-волн на участке 2 (Верхнезейск-Ульма) хуже, по сравнению с сейсмическим материалом на участке 1 (Ларба-Бомнак), что связано с мощной низкоскоростной толщей в районе Верхнезейского водохранилища. Так в центральной части водохранилища отмечается полное отсутствие записей S-волн даже на небольшом удалении (~5-6 км).

Как и для продольных волн, по годографам S-волн отмечается увеличение кажущихся скоростей от 2.5-3.0 км/с на малых удалениях (пониженных, главным образом, в районе Верхнезейского водохранилища) до 3.5-3.7 км/с на удалениях свыше 100 км. На ряде годографов S-волн на больших базах в пределах западной части расстановки 1 и юго-восточной части расстановки 2 отмечено увеличение кажущихся скоростей поперечных волн до 3.8-4.0 км/с.

### ***Интерпретация и результаты***

Интерпретация (и обработка) сейсмических данных на двух расстановках Восточно-Станового фрагмента профиля 8-ДВ проводилась традиционными в ГСЗ способами с использованием обрабатывающих комплексов EDSM (АСФ ФИЦ ЕГС РАН, система обработки сейсмических данных от взрывных и вибрационных источников), REFRA (ИНГГ СО РАН, АО «СНИИГГиМС»), программа интерпретации волн в первых вступлениях способом сейсмической томографии на временных задержках рефрагированных волн), RadEx Pro Plus Field на персональных компьютерах [3, 6, 7]. Были построены годографы рефрагированных Р-

и S- волн, увязанные во взаимных точках и рассчитаны томографические разрезы земной коры до глубин 15-25 км. По рассчитанным сейсмическим разрезам на расстановках 1 и 2 (рис. 1) были построены сводные глубинные сейсмические разрезы верхней коры по данным Р- и S- волн Восточно-Станового фрагмента профиля 8-ДВ (рис. 3, рис. 4). Скорости Р- волн в верхней части разреза на рисунке 3 изменяются от 4-5 км/с в пределах Верхне-Зейской ( $X=340-430$  км) и Амуро-Зейской ( $X=560-680$  км) впадин до 5.5-6.0 км/с в пределах Восточно-Становой складчато-блоковой системы ( $X=0-350$  км) и горного хребта Джэгды ( $X=480-520$  км) (рис. 3); мощность осадочных отложений в центральной части Верхне-Зейской впадины достигает 5 км, в Амуро-Зейской до 2.5-3 км (рис. 3). На глубинах 10-20 км в створе профиля выделяются линзы высокоскоростных (в 6.4-7.0 км/с) и низкоскоростных (6.25-6.35 км/с) пород (рис. 3). Наиболее высокие значения скорости в 6.6-6.7 км/с (и даже до 7.0 км/с) отмечаются под Верхне-Зейской, Амуро-Зейской впадинами и в области сочленения Амуро-Охотской складчатой системы и Буреинского массива ( $X=480-540$  км) (рис. 3). Пониженные значения скорости Р-волн отмечаются в пределах Восточно-Становой складчато-блоковой системы (участки  $X=160-180$  км и  $X=230-250$  км), под центральной и юго-восточной частями Верхне-Зейской впадины соответственно на глубинах 15-20 км и 7-15 км (рис. 3).

По данным S- волн в верхней части разреза (рис. 4) значения скорости составляют в целом 3.0-3.2 км/с; пониженные значения скорости в 2.5-2.6 км/с отмечается на участке Верхне-Зейской впадины и в 2.9-3.0 км/с в Амуро-Зейской впадине (рис. 4). На глубинах 5-20 км в пределах разреза по данным поперечных волн выделяется ряд участков с пониженными и повышенными значениями скорости, соответственно до 3.4-3.5 км/с и 3.75-3.8 км/с. Зоны с пониженными значениями скорости выделяются на глубинах 6-12 км в пределах Восточно-Становой складчато-блоковой системы (участки  $X=100-120$  км,  $X=170-200$  км и  $X=340-355$  км) и в северо-западной части Буреинского массива ( $X=540-550$  км) (рис. 4). Зоны с повышенными значениями скорости S-волн (до 3.8 км/с) выделяются на глубинах 8-20 км в центральной части Восточно-Становой складчато-блоковой системы ( $X=125-175$  км), в северо-западной части Верхне-Зейского водохранилища ( $X=375-400$  км) и в центральной части Буреинского массива ( $X=580-620$  км) (рис. 4).

Высокие значения скорости поперечных волн (до 3.7-3.75 км/с) отмечаются также на участке  $X=200-220$  км в Восточно-Становой складчато-блоковой системе, Амуро-Охотской складчатой системе ( $X=480-515$  км) и в юго-восточной части Буреинского массива ( $X=625-635$  км).

Результаты выполненных исследований согласуются с результатами глубинных сейсмических исследований прошлых лет на профилях р. Зей-р. Селенджи-р. Бурей (ГСЗ, 1985 год) и 3-ДВ (Южный участок, 2009 год) [1, 4].

Восточно-Становой фрагмент профиля 8-ДВ находится в пределах крупных тектонических структур Центрально-Азиатского складчатого пояса – Селенгино-Становой и Амурской складчатых областей [1, 2, 5]. Основу их геологического строения составляют традиционно выделяемые условно ранне- и

позднекембрийские комплексы, а также многочисленные интрузивные и вулканоплутонические ассоциации палеозоя и мезозоя [1, 5]. Выделенные выше сейсмические аномалии Р-и S-волн на глубинах 5-20 км в пределах Селенгино-Становой и Амурской складчатых областей могут быть глубинными магматическими корнями распространенных на поверхности гранит-гранодиоритовых комплексов. Каркасом зоны мезозойской тектоно-магматической коллизии Алдано-Станового, Амурского и Монголо-Охотского мегаблоков являются зоны региональных разрывных нарушений и, прежде всего главных разломов – Южно-Тукурингского, Северо-Тукурингского и Желтулакского [1, 2, 5]. Наиболее выражены особенности сейсмического строения в верхней коре именно на участке Амуро-Охотской складчатой системы в области сочленения Селенгино-Становой и Амурской складчатых областей на участке ( $\approx 460$  км и  $\approx 520$  км на рис. 3) разломов глубинного заложения.

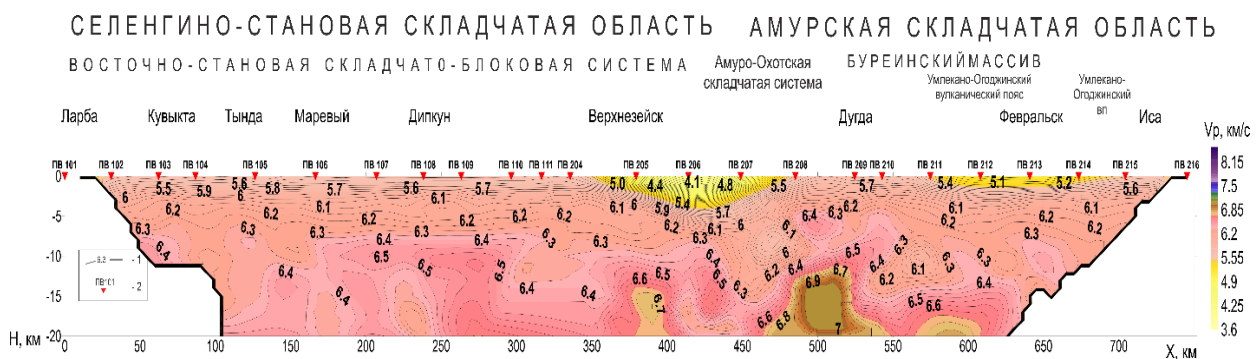


Рис. 3. Глубинный сейсмический разрез верхней коры по данным продольных волн на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ. 1 – изолинии скорости в км/с, 2 – источники возбуждения на первой (ПВ101-ПВ111) и второй (ПВ205-ПВ216) расстановках.

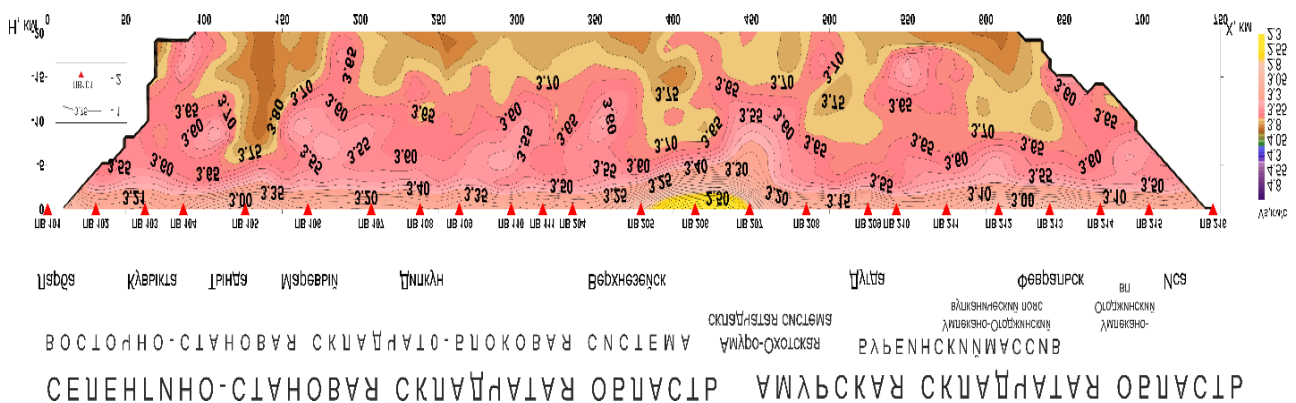


Рис. 4. Глубинный сейсмический разрез верхней коры по данным поперечных волн на Восточно-Становом фрагменте профиля 8-ДВ. Условные обозначения как на рисунке 3.

## Выводы

Установлены особенности глубинного строения верхней коры Восточно-Станового фрагмента опорного геофизического профиля 8-ДВ. По данным Р-и S-волн отмечается неоднородное строение самой верхней и средней части земной коры глубиной. Наиболее высокими значениями скорости продольных и поперечных волн (соответственно до 5.7-5.8 км/с и 3.2-3.4 км/с) в верхней части коры на профиле характеризуются участки высокогорных хребтов и плоскогорий; наиболее низкие значения скорости Р-и S-волн (соответственно в 3-5 км/с и 2.3-2.5 км/с) установлены в зоне Верхнезейской и Амуро-Зейской впадин. На глубинах 10-15 км скорости продольных и поперечных волн в целом по профилю возрастают соответственно до 6.20-6.30 км/с и 3.6-3.65 км/с; на ряде участков Восточно-Станового фрагмента профиля 8-ДВ в данном интервале глубин выделяются локальные высокоскоростные неоднородности в 6.4-6.6 км/с (и даже 7.0 км/с) по продольным волнам и 3.75-3.90 км/с по поперечным волнам.

Проведено сопоставление установленных особенностей сейсмического строения на профиле 8-ДВ с тектоникой региона. Значительные сейсмические неоднородности в земной коре и мантии коррелируют с Амуро-Охотской складчатой системой (или восточной ветвью Монголо-Охотского шва) в зоне сочленения крупных тектонических структур Центрально-Азиатского складчатого пояса - Селенгино-Становой и Амурской складчатой областей.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России (в рамках государственного задания № 075-01304-20) и с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира».

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Диденко А.Н., Ефимов А.С., Нелюбов П.А., Сальников А.С., Старосельцев В.С., Шевченко Б.Ф., Горошко М.В., Гурьянов В.А., Заможная Н.Г. Структура и эволюция земной коры области сочленения Центрально-Азиатского складчатого пояса и Сибирской платформы: профиль Сковородино-Томмот // Геология и Геофизика. – 2013. – Т.54. – № 10. – С. 1583-1599.
2. Кашубин С.Н., Петров О.В., Мильштейн Е.Д., Кудрявцев И.В., Андросов Е.А., Винокуров И.Ю., Тарасова О.А., Эринчек Ю.М. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Северо-Восточной Евразии // Региональная геология и металлогения. – 2018. – №76. – С. 9-21.
3. Крылов С.В., Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Петрик Г.В., Сергеев В.Н., Шелудько И.Ф., Тен Е.Н., Кульчинский Ю.В., Мандельбаум М.М., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Суворов В.Д. Детальные сейсмические исследования литосферы на Р- и S- волнах. – Новосибирск: Наука, Сибирская издательская фирма. – 1993. – 199 с.
4. Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Анненков В.В. Глубинное сейсмическое зондирование на Буреинском массиве // Геология и геофизика. – 1987. – №10. – с. 98-107.
5. Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И. и др. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. – 2003. – т. 22. – №6. – С. 7—41.
6. Пузырев Н.Н., Крылов С.В., Мишенькин Б.П. Методика рекогносцировочных глубинных сейсмических исследований. – Новосибирск: Наука. – 1975. – 158 с.



7. Соловьев В.М., Селезнев В.С., Сальников А.С., Кашубина Т.В., Шенмайер А.Е. Использование эффективных сейсмических моделей сред при работах ГСЗ на опорных профилях в Восточной части России // Геология, геофизика и минеральное сырье Сибири. – 2014. – №4. – С. 74-86.

## REFERENCES

1. Didenko A.N., Efimov A.S., Nelyubov P.A., Sal'nikov A.S., Starosel'cev V.S., Shevchenko B.F., Goroshko M.V., Gur'yanov V.A., Zamozhnyaya N.G. Struktura i evolyuciya zemnoj kory oblasti sochleneniya Central'no-Aziatskogo skladchatogo poyasa i Sibirskoj platformy: profil' Skovorodino-Tommot // Geologiya i Geofizika. – 2013. – Т.54. – № 10. – S. 1583-1599.

2. Kashubin S.N., Petrov O.V., Mil'shtejn E.D., Kudryavcev I.V., Androsov E.A., Vinokurov I.YU., Tarasova O.A., Erinchek YU.M. Glubinnoe stroenie zemnoj kory i verhnjej mantii Severo-Vostochnoj Evrazii // Regional'naya geologiya i metallogeniya. – 2018. – №76. – S. 9-21.

3. Krylov S.V., Mishen'kin B.P., Mishen'kina Z.R., Petrik G.V., Sergeev V.N., SHelud'ko I.F., Ten E.N., Kul'chinskij YU.V., Mandel'baum M.M., Seleznev V.S., Solov'ev V.M., Suvorov V.D. Detal'nye sejsmicheskie issledovaniya litosfery na R- i S- volnah. – Novosibirsk: Nauka, Sibirskaya izdatel'skaya firma. – 1993. – 199 s.

4. Mishen'kin B.P., Mishen'kina Z.R., Annenkov V.V. Glubinnoe sejsmicheskoe zondirovanie na Bureinskom massive // Geologiya i geofizika. – 1987. – №10. – S. 98-107.

5. Parfenov L.M., Berzin N.A., Hanchuk A.I. i dr. Model' formirovaniya orogennyh poyasov Central'noj i Severo-Vostochnoj Azii // Tihookeanskaya geologiya. – 2003. – t. 22. – №6. – S. 7—41.

6. Puzyrev N.N., Krylov S.V., Mishen'kin B.P. Metodika rekognoscirovochnyh glubinyh sejsmicheskikh issledovaniy. – Novosibirsk: Nauka. – 1975. – 158 s.

7. Solov'ev V.M., Seleznev V.S., Sal'nikov A.S., Kashubina T.V., SHenmajer A.E. Ispol'zovanie effektivnyh sejsmicheskikh modelej sred pri rabotah GSZ na opornyh profilyah v Vostochnoj chasti Rossii // Geologiya, geofizika i mineral'noe syr'e Sibiri. – 2014. – №4. – S. 74-86.

© В. М. Соловьев, А. С. Сальников, В. С. Селезнев, Т. В. Кашубина, Н. А. Галёва, 2021