

УДК 550.834.42+550.34

Верхняя мантия Прибайкалья и Забайкалья по данным площадных сейсмологических исследований

© 2020 г. В.М. Соловьев¹, В.С. Селезнев², В.В. Чечельницкий³, Н.А. Галёва¹

¹АСФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, Россия; ²СЕФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Новосибирск, Россия;

³БФ ФИЦ ЕГС РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. Представлены новые сведения о скоростном строении верхней мантии Прибайкалья и Забайкалья по данным площадной интерпретации сейсмологических данных от достаточно сильных землетрясений. По результатам томографической интерпретации времён пробега P - и S -волн от границы Мохоровичича построены карты граничных скоростей продольных и поперечных волн в Прибайкалье и Забайкалье, отношения скоростей P - и S -волн (V_p/V_s) и распределение коэффициента Пуассона (σ). В северо-западной, северной и северо-восточной частях площади исследований (в пределах Байкальской рифтовой зоны) граничная скорость имеет пониженные значения в 7.80–7.95 км/с по данным продольных волн и 4.45–4.55 км/с – по данным поперечных волн. В юго-восточной части площади в верхней мантии выделен мантийный блок с поперечными размерами около 600×600 км с высокими значениями скоростей продольных и поперечных волн, соответственно в 8.40–8.45 и 4.80–4.85 км/с, повышенными значениями V_p/V_s и σ . Обосновано предположение о его природе как пластины эклогитов (или эклогитоподобных пород) в районе Монголо-Охотского орогенного пояса. Проведено сопоставление полученных результатов с материалами других исследований.

Ключевые слова: Прибайкалье и Забайкалье, граница Мохоровичича, сейсмологические данные, граничные скорости P -и S - волн, коэффициент Пуассона.

Для цитирования: Соловьев В.М., Селезнев В.С., Чечельницкий В.В., Галёва Н.А. Верхняя мантия Прибайкалья и Забайкалья по данным площадных сейсмологических исследований // Российский сейсмологический журнал. – 2020. – Т. 2, № 1. – С. 7–17. DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.01>

Введение

На территории Прибайкалья и Забайкалья к настоящему времени выполнен значительный комплекс сейсмических исследований по изучению глубинного строения земной коры и верхней мантии, в особенности, глубинными сейсмическими исследованиями методом ГСЗ (глубинного сейсмического зондирования) в 70–80-х гг. прошлого столетия [Недра Байкала, 1981; Крылов и др., 1990; Мишенькин и др., 1999; Suvorov et al., 2002]. Главным образом это относится к западной и северной частям Забайкалья в пределах Байкальской рифтовой зоны (БРЗ). По результатам работ ГСЗ были составлены детальные карты глубины залегания поверхности Мохоровичича и площадного распределения граничной скорости продольных волн вдоль неё [Недра Байкала, 1981; Крылов и др., 1990; Мишенькин и др., 1999; Suvorov et al., 2002]. Согласно этим картам, глубина залегания поверхности Мохоровичича в среднем составляет 40 км (от 35 до 45 км),

а граничная скорость изменяется от пониженных значений 7.7–7.8 км/с в пределах БРЗ до нормальных значений 8.1–8.2 км/с за её границей. В 2014–2015 гг. в восточной части Забайкалья был отработан опорный геофизический профиль 1-СБ (Восточный) по маршруту пос. Среднеаргунск – пос. Усть-Каренга – г. Таксимо – пос. Витим протяжённостью свыше 1200 км, практически в крест пересекающий крупные тектонические структуры Центрально-Азиатского складчатого пояса: Аргунский срединный массив, Селенга-Становую и Забайкальскую складчатые области, Байкальскую рифтовую зону и Бодайбино-Патомскую складчатую систему (рис. 1а). Материалы глубинных сейсмических исследований опорного профиля 1-СБ (Восточный участок) в целом подтвердили выявленные ранее работами ГСЗ особенности глубинного строения Забайкалья, включая аномальную низкоскоростную мантию в Байкальской рифтовой зоне. Также была установлена высокоскоростная аномалия по границе Мохоровичича

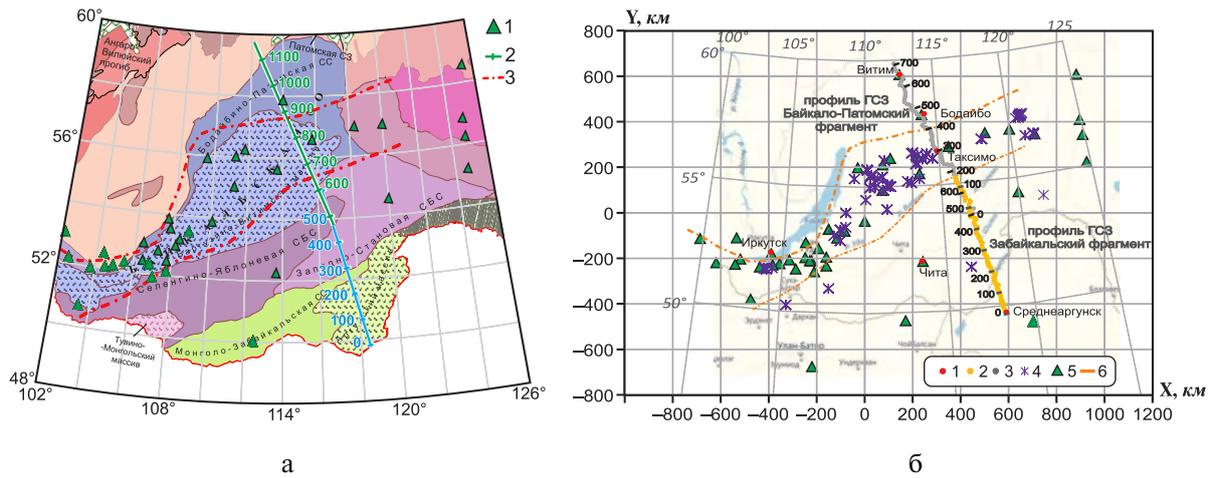


Рис. 1. Схемы тектонического районирования в Прибайкалье и Забайкалье по [Кашубин и др., 2018] (а) и площадных сейсмологических наблюдений (б).

1 – города; 2, 3 – профиль 1-СБ; 4 – землетрясения с $K \geq 9$; 5 – сейсмостанции;
6 – контуры Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) по [Солоненко, 1968]

в юго-восточной части профиля в пределах Аргунского срединного массива и Селенгино-Становой складчатой области (рис. 1а) [Соловьев, Сальников и др., 2017; Соловьев, Селезнев и др., 2017].

Наряду с детальными работами методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) в Прибайкалье и Забайкалье, в особенности в последние два десятилетия, проводились малодетальные исследования методом обменных волн от удалённых землетрясений, томографические построения по данным от удалённых или локальных землетрясений, сейсмопрофилирование на озере Байкал и др. [Винник и др., 2017; Ten Brink, Taylor, 2002; Zorin et al., 2002; Mordvinova, Artemyev, 2010; Petit et al., 1998]. Выполненные по разным методикам, и при использовании разных типов и классов волн, эти сведения по глубинному строению зачастую противоречат друг другу. Так, в работе [Ten Brink, Taylor, 2002] по малопредставительным сейсмическим данным многоканального сейсмического профилирования под Байкалом на глубине 40 км прослежена граница Мохоровичича с нормальной скоростью P -волн (≥ 8.0 км/с), что противоречит материалам ГСЗ 1970–1980-х гг., свидетельствующих об аномальной мантии под Байкалом с пониженными скоростями продольных волн. В работе [Винник и др., 2017] авторы по материалам интерпретации методом обменных волн от удалённых землетрясений на отдельных разрозненных точках (сейсмостанциях) в пределах Прибайкалья и Забайкалья делают слабо обоснованный вывод, что «исследование подтверждает на качественном уровне пониженные значения скорости продольных волн (установленные ранее по данным ГСЗ в БРЗ), но они, как пра-

вило, не сопровождаются понижением скорости поперечных волн, ожидаемом при частичном плавлении». Таким образом, ставятся под сомнение как опорные данные десятков детальных сейсмических профилей, так и обоснование гипотезы аномальной мантии в пределах Байкальской рифтовой зоны, проведённое в работах [Недра Байкала, 1981; Крылов, 1976].

Ниже представлены результаты площадной томографической интерпретации сейсмологических материалов (времен пробега преломлённой волны от границы Мохоровичича) в Прибайкалье и Забайкалье с построением карт граничных скоростей продольных и поперечных волн по поверхности Мохоровичича.

Экспериментальный материал

С использованием данных от землетрясений (рис. 1б) проводилось площадное изучение граничных скоростей по границе Мохоровичича. В обработке было использовано 615 значений времен пробега $P_{пр}^M$ -волны на удалениях от 180 до 1470 км и 428 времен S -волны на удалениях от 180 до 1160 км из базы сейсмологических данных Байкальского филиала ФИЦ ЕГС РАН за период с 2002 по 2014 год. Эти данные получены на цифровой регистрирующей аппаратуре от достаточно сильных землетрясений с энергетическими классами $K \geq 9$. Для них были определены с высокой точностью эпицентры и с меньшей точностью (в среднем, не хуже, чем ± 5 км) глубины землетрясений. Лучевая схема, иллюстрирующая площадное освещение изучаемого участка данными времен пробега волн $P_{пр}^M$ от землетрясений, представлена на рис. 2.

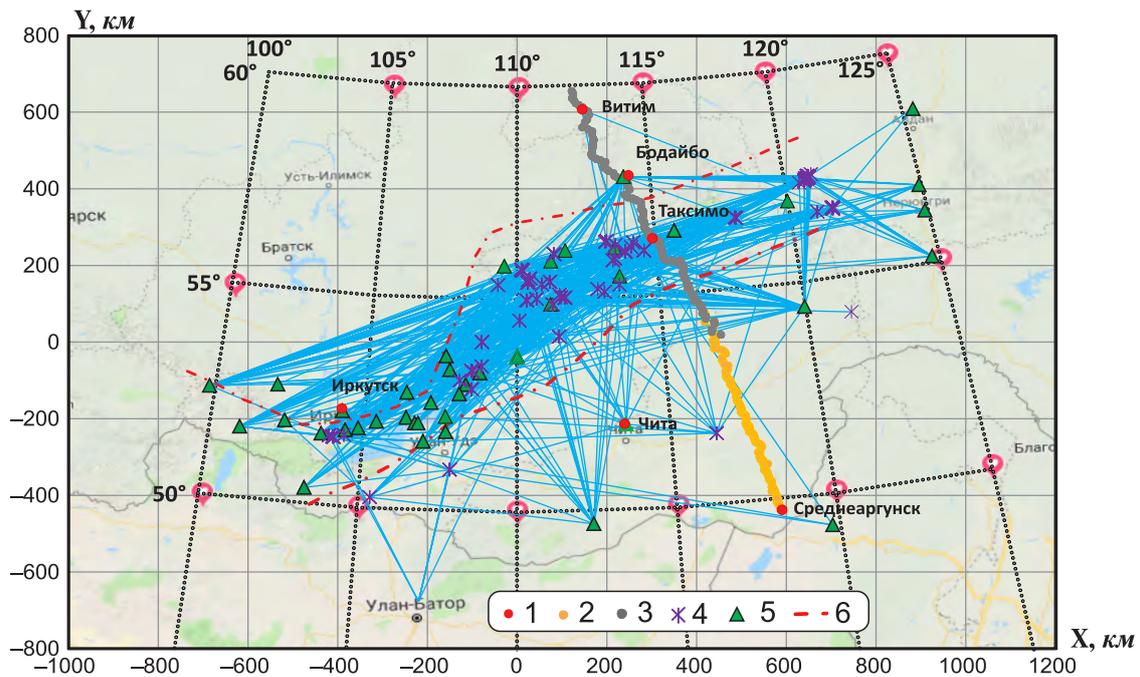


Рис. 2. Лучевая схема сейсмологических наблюдений в Прибайкалье и Забайкалье.

1 – города; 2, 3 – профиль 1-СБ; 4 – землетрясения с $K \geq 9$; 5 – сейсмостанции;
6 – контуры Байкальской рифтовой зоны (БРЗ) по [Солоненко, 1968]

Для томографических расчётов географические координаты землетрясений и регистрирующих станций были пересчитаны в плоскую прямоугольную систему координат с ортографической (азимутальной) проекцией с началом координат в точке 54°N , 110°E . Видно, что наиболее полно данные о временах пробега волн $P_{\text{пр}}^M$ от границы Мохо представлены для западного и северо-западного участков Прибайкалья и Забайкалья. В качестве параметров осреднённой модели земной коры и верхней мантии Прибайкалья и Забайкалья из материалов ГСЗ прошлых лет [Недра Байкала, 1981; Крылов и др., 1990; Мишенькин и др., 1999] и данных по профилю 1-СБ [Соловьев, Сальников и др., 2017; Соловьев, Селезнев и др., 2017] принята мощность земной коры в 40 км, а средние скорости P - и S -волн в земной коре, соответственно, 6.4 и 3.7 км/с.

С использованием этих данных и сведений о глубинах гипоцентров землетрясений по каждому отрезку (эпицентр землетрясения – сейсмостанция) в рамках простых соотношений определялись значения граничной скорости (V_Γ) по границе Мохо:

$$V_\Gamma = \frac{L}{t - \frac{(2H - h)\cos(i)}{V}}, \quad (1)$$

где $i = \arcsin(V/V_\Gamma)$, L , t , H и h – эпицентральное расстояние, время пробега от гипоцентра до сейсмостанции, глубина до границы Мохо

и глубина очага землетрясения соответственно. Покрывающая среда при этом предполагается однородной, а граница – плоской и горизонтальной.

Эти же данные (средние скорости в коре, средняя глубина до границы Мохо, данные времён от землетрясений, сведения о глубинах и координатах землетрясений) позволяют ввести поправку за глубину очага во времена вступления продольных и поперечных волн от границы Мохо и построить сводные годографы от землетрясений для территории Прибайкалья и Забайкалья. Разность времён одной и той же головной волны от поверхностного и заглуплённого источников от k -го события до приёмных j -станций (t_{kj}^0) связана с глубиной гипоцентра (h) следующим соотношением:

$$t_{kj}^0 = h \cdot \cos(i) / V, \quad (2)$$

где $i = \arcsin(V/V_\Gamma)$.

По рассчитанным таким образом сейсмологическим данным проведена оценка значений кажущейся скорости продольных и поперечных волн для различных интервалов регистрации и выполнена площадная томографическая интерпретация годографов от землетрясений.

Из анализа всей совокупности распределения кажущейся скорости $P_{\text{пр}}^M$ -волны (рассматриваемой, в первом приближении, как граничная скорость) для нарастающих интервалов

регистрации (рис. 3) видно, что до удалений в 700 км отмечается значительный разброс в данных. В интервале удалений 180–400 км значения скорости находятся в пределах 7.6–8.4 км/с; на удалениях до 400–700 км они несколько повышены и составляют 7.8–8.4 км/с. На больших интервалах удалений до 800–1200–1470 км разброс существенно уменьшен, и значение скорости при этом составляет 7.9–8.1 км/с. Для S -волн эти значения составляют 4.30–4.85, 4.45–4.80 и 4.50–4.70 км/с соответственно. Представленный на рис. 3 график указывает на два обстоятельства: существенное влияние аномальной низкоскоростной мантии на удалениях до 600 км и наличие одного или нескольких не протяжённых высокоскоростных блоков по границе Мохо со скоростями 8.2–8.6 км/с. Наличие же протяжённого высокоскоростного блока по границе Мохо в Прибайкалье и Забайкалье существенно подняло бы значение скорости продольных волн на удалениях свыше 800 км.

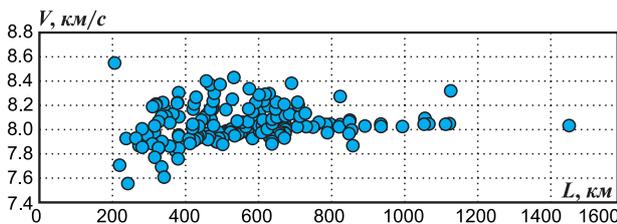


Рис. 3. Значения кажущейся скорости $P_{\text{пр}}^M$ -волны для разных эпицентральных расстояний в Прибайкалье и Забайкалье

Была выполнена оценка влияния ошибок в глубинах землетрясений на значения кажущейся скорости $P_{\text{пр}}^M$ -волны для разных удалений. Для единичных определений ошибка в определении времён в ± 0.5 с (за счёт средних ошибок в глубине гипоцентра \sim в ± 5 км) приведёт к ошибкам в значениях скорости \sim в ± 0.15 км/с на малых базах (200–400 км) и к менее значительным ошибкам \sim в ± 0.05 км/с на больших удалениях в 800–1200 км. При осреднении данных ошибки в определении скорости $P_{\text{пр}}^M$ -волны за счёт ошибок в глубинах гипоцентров будут существенно (в \sqrt{n} раз, где n – количество определений) меньше, в особенности для больших удалений. Качественно незначительные ошибки в параметрах гипоцентров подтверждает примерно одинаковый разброс редуцированных времён на сводных годографах от землетрясений (рис. 4а) и взрывов на профиле 1-СБ (рис. 4б, в), составляющий порядка 2.0–2.5 с. Более существенно на времена сводных годографов оказывают влияние зоны пониженной и повышенной

скорости по границе Мохо площади исследования. Так, южный участок профиля 1-СБ (Забайкальский фрагмент) проходит по участку только с повышенной скоростью [Соловьев, Селезнев и др., 2017], соответственно и разброс времён на сводном годографе также минимальный, в отличие от северного (Байкало-Патомского фрагмента), где по данным [Соловьев, Сальников и др., 2017] присутствуют высокоскоростные и низкоскоростные зоны на поверхности Мохоровичича.

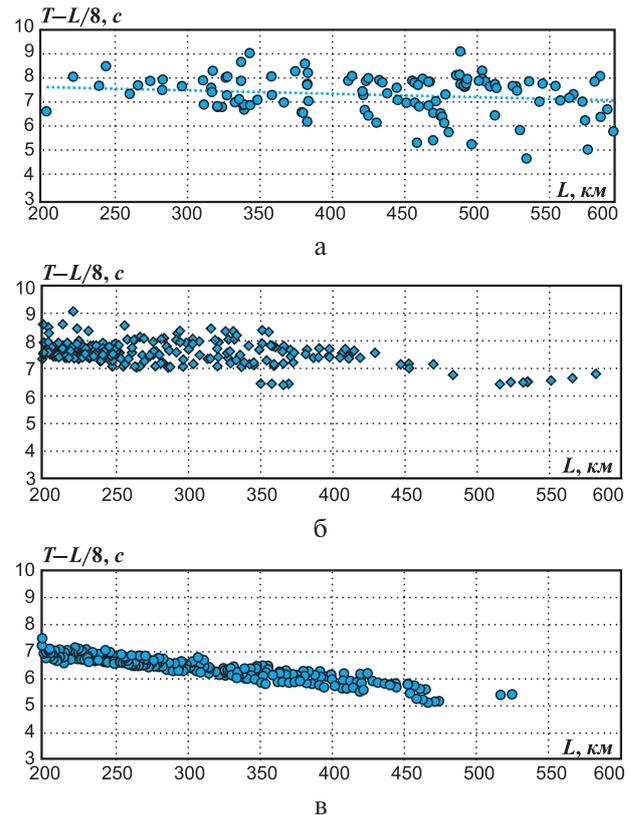


Рис. 4. Редуцированные годографы продольных преломлённых волн от границы Мохоровичича от землетрясений (а), химических взрывов и мощных вибраторов, полученные на Байкало-Патомском (б) и Забайкальском (в) фрагментах профиля 1-СБ

Для определения скоростей P - и S -волн по границе Мохо в пределах Байкальской рифтовой зоны были сделаны выборки из данных так, чтобы пробег луча от землетрясения к станции по границе Мохо находился в пределах контура БРЗ. Кроме того, с целью учёта отмечаемой на ряде профилей ГСЗ смены преломлённых P - и S -волн в БРЗ на удалениях в 300–400 км [Недра Байкала, 1981; Крылов и др., 1990; Мишенькин и др., 1999], производились выборки значений скоростей P - и S -волн на удалениях до 350 км и более 350 км. Полученные осреднённые данные скоростей P - и S -волн представлены в таблице.

Таблица

V (P , S)	Интервал осреднения, км	n	V , км/с	Стандартное отклонение, км/с
V_P	180–350	138	7.89	0.14
V_S	180–350	81	4.47	0.09
V_P	350–1150	258	8.00	0.07
V_S	350–1100	185	4.60	0.06

Как видно из таблицы, в целом для Байкальской рифтовой зоны по сейсмологическим данным на удалениях 180–350 км отмечается понижение скоростей P - и S -волн, что подтверждает данные ГСЗ о существовании аномальной мантии в пределах БРЗ [Недра Байкала, 1981; Крылов и др., 1990; Мишенькин и др., 1999; Соловьев, Сальников и др., 2017].

Полученные на больших удалениях скорости P - и S -волн (свыше 350 км в таблице) соответствуют нормальной мантии на больших глубинах. В работе [Селезнев, Соловьев, 1979] приведены расчёты значений кажущейся скорости S -волн по границе Мохоровичича в БРЗ (из материалов сейсмологических бюллетеней за 1970–1973 гг.) для таких же интервалов, как в таблице. Полученные значения скорости S -волн составили соответственно 4.32 ± 0.1 и 4.52 км/с, что коррелирует с результатами в таблице и вместе с ними подтверждает существование пониженной скорости на поверхности Мохо в Байкальской рифтовой зоне (аномальной мантии по P - и S -волнам).

Построение карт граничных скоростей P - и S -волн по поверхности Мохоровичича

Полученные выше значения граничных скоростей на отрезках лучей в пределах всей площади были также использованы для площадной томографической интерпретации. Первоначально в исходные времена и расстояния вводились поправки за сейсмический снос, чтобы полученные таким образом времена относились к участку пробега по границе Мохо. Площадь была разбита на равные квадраты со стороной 200 км. Далее было составлено уравнение:

$$t_i = \sum_j \frac{a_{ij}}{V_j}, \quad (3)$$

где t_i – времена пробега волны вдоль i -го луча по границе Мохо, a_{ij} – длина сегмента i -го луча в j -м блоке разбиения поверхности Мохо, $\sum_j a_{ij} = l_i$ – длина i -го луча по границе Мохо, V_j – неизвестная граничная скорость на поверхности мантии в j -м блоке разбиения поверхно-

сти. Решение системы уравнений осуществлялось методом наименьших квадратов с регуляризацией [Нолет, 1990]. Значения скорости для референтной модели были взяты из схемы распределения граничной скорости на поверхности мантии, полученной ранее методом ГСЗ на территории БРЗ и разновозрастных складчатых областей Прибайкалья и Забайкалья [Недра Байкала, 1981; Крылов и др., 1990; Мишенькин и др., 1999], и данных с профиля 1-СБ [Соловьев, Сальников и др., 2017; Соловьев, Селезнев и др., 2017].

Полученное распределение граничных скоростей P - и S -волн представлено на рис. 5.

Результаты и обсуждение

Несмотря на присутствие модельных погрешностей, связанных с использованием в расчётах осреднённой модели земной коры и мантии площади исследований, результаты площадной интерпретации данных сейсмологии существенно дополнили построенные ранее карты граничной скорости P -волн в Прибайкалье и Забайкалье, а по поперечным волнам впервые получена схема распределения граничной скорости по границе Мохо. В юго-восточной части площади в верхней мантии по данным P - и S -волн выделен высокоскоростной мантийный блок с поперечными размерами около 600×600 км. Скорости P - и S -волн по границе Мохо в его пределах повышены соответственно до 8.40 – 8.45 и 4.80 – 4.85 км/с. В пределах Забайкальского фрагмента профиля 1-СБ – это область сочленения Восточно-Забайкальской и Саяно-Байкальской складчатых областей Центрально-Азиатского складчатого пояса, разделённых Монголо-Охотским поясом.

В работе [Соловьев, Чечельницкий и др., 2017] на основе анализа геолого-геофизических и геодинимических сведений по району исследований сделано предположение, что выделенный по данным сейсмологии и ГСЗ высокоскоростной слой в верхней мантии в юго-восточной части Забайкалья является пластиной эклогитов (или эклогитоподобных пород) в районе Монголо-Охотского орогенного пояса. Так, согласно исследованиям [Диденко и др., 2013; Парфенов и др., 2003; Шевченко и др., 2011], формирование позднепалеозойско-раннемезозойского Монголо-Охотского орогенного пояса связывается «с закрытием существовавшего на его месте океанического бассейна и субдукцией океанической коры под смежные континентальные окраины». В зонах субдукции океанической плиты возможно образование глаукофановых сланцев

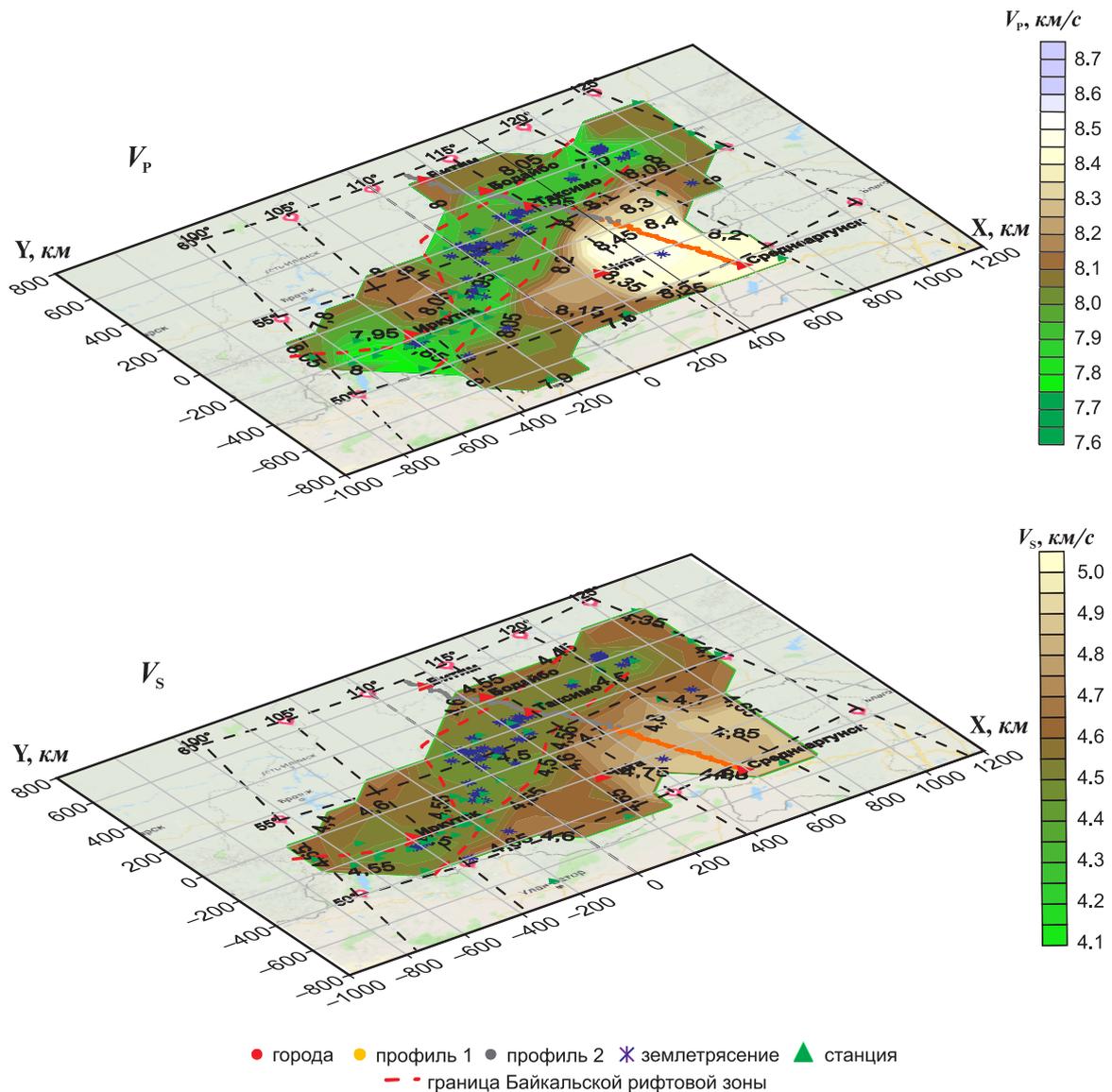


Рис. 5. Схема распределения граничных скоростей P - и S -волн по границе Мохоровичича на территории Прибайкалья и Забайкалья

и эклогитов. Последние выступают как химические эквиваленты габбро и базальтов, но превышают их по плотности на 20–25 % [Добрецов и др., 1989]. Их плотность (3.3–3.7 г/см³), а значит, и скорости P - и S -волн выше, чем у пород верхней части верхней мантии. Теоретические (рассчитанные по минеральному составу эклогитов) и экспериментальные (при исследовании образцов эклогитов) значения скоростей P - и S -волн для эклогитов, полученные в работе [Соловьев, 1988], при давлениях в верхней мантии (до 10 кбар) составили, соответственно, 8.20–8.65 и 4.65–4.80 км/с. Было показано также, что эклогиты характеризуются повышенными значениями V_p/V_s (до 1.8–1.9) и коэффициентом Пуассона (σ) до 0.27–0.28; а при

содержании в эклогитах порядка 10 % дистена скорости P - и S -волн могут достигать, соответственно, 9 и 5 км/с [Соловьев, 1988]. В рассчитанных картах распределение отношений скоростей P - и S -волн (рис. 6а) и коэффициента Пуассона (рис. 6б) для исследуемого участка составляет $V_p/V_s=1.80–1.82$, $\sigma=0.270–0.285$, что коррелирует с вышеприведёнными расчётами. О небольшой мощности высокоскоростного слоя (пластины эклогитоподобных пород мощностью в 5–10 км) свидетельствуют сейсмические данные на профиле 1-СБ в данной зоне, что следует из отсутствия значимой рефракции по годографам преломлённых волн от границы Мохоровичича ($P_{пр}^M$) и их динамической выразительности [Соловьев, Селезнев и др., 2017; Соловьев, Чечельницкий и др., 2017].

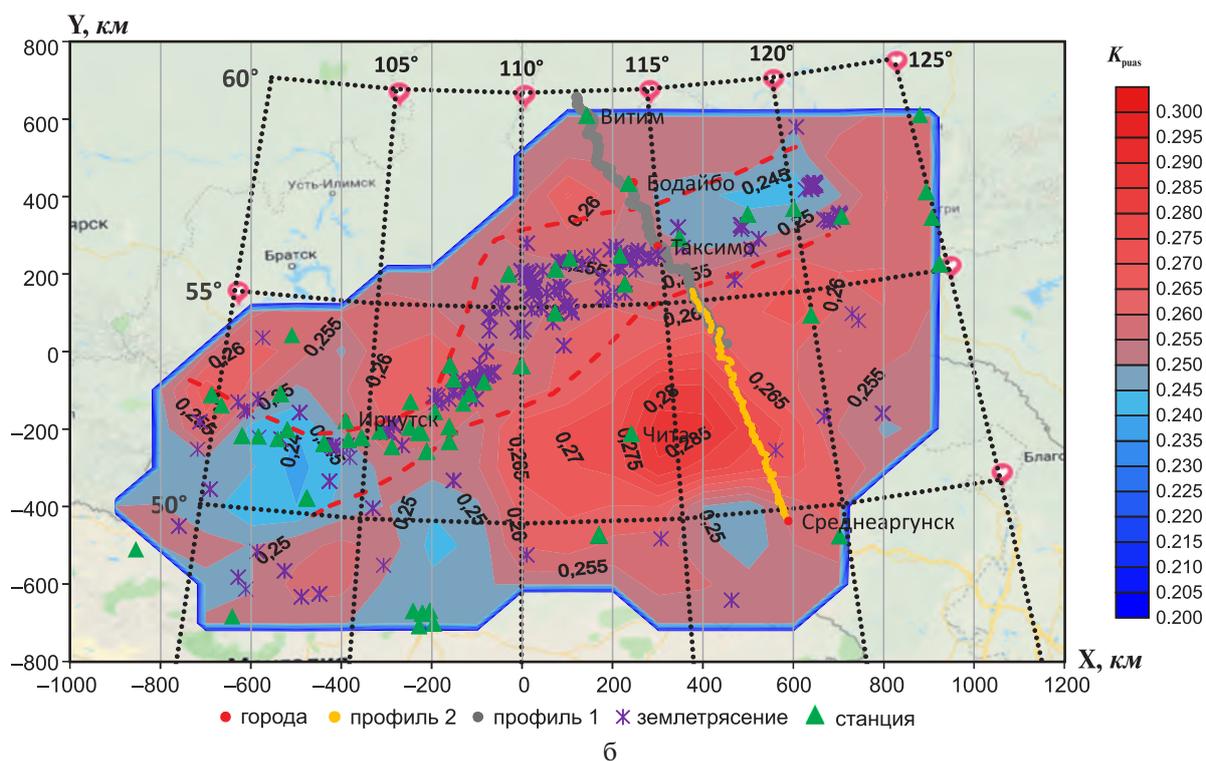
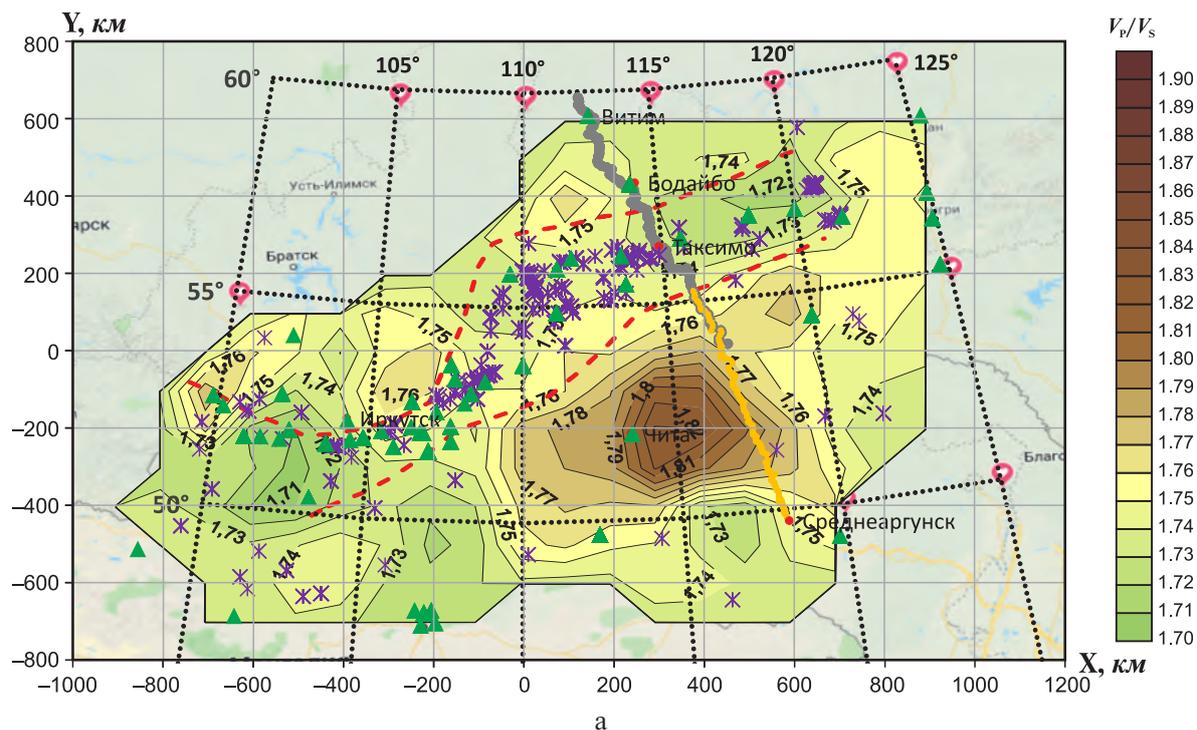


Рис. 6. Распределение отношений V_p/V_s (а) и коэффициента Пуассона (б) по поверхности Мохоровичича в Прибайкалье и Забайкалье

В северо-западной и северо-восточной частях площади исследований (в пределах Байкальской рифтовой зоны) граничные скорости P - и S -волн имеют пониженные значения – $7.80\text{--}7.95$ и 4.5 ± 0.05 км/с соответственно (рис. 5). Эти результаты площадных сейсмологических исследований коррелируют с дан-

ными таблицы (значений скоростей P - и S -волн из выборки лучей в пределах БРЗ), материалами профиля 1-СБ [Соловьев, Сальников, 2017] и профильных исследований методом ГСЗ 70–80-х годов прошлого столетия [Недра Байкала, 1981; Крылов и др., 1990; Мишенькин и др., 1999]. Они также однозначно опровергают ряд результатов

по малопредставительным сейсмическим исследованиям в районе оз. Байкал, в которых утверждается об отсутствии аномальной (низкоскоростной) мантии в Байкальской рифтовой зоне по данным P - и S -волн [Винник и др., 2017; Ten Brink, Taylor, 2002; Zorin et al., 2002; Mordvinova, Artemyev, 2010; Nielsen, Thybo, 2009]. По соотношению скоростей V_p/V_s и коэффициенту Пуассона на границе Мохо выделяются участки с пониженными значениями параметров (до 1.71–1.72 по V_p/V_s и 0.24–0.245 по σ) в юго-западной (район Тункинской впадины) и северной части (район Чарской впадины и горного окружения) Байкальской рифтовой зоны (рис. 6). В центральной части БРЗ площади исследований значения V_p/V_s и σ составляют, соответственно, 1.74–1.75 и 0.255. Локальные участки повышенных значений V_p/V_s (до 1.76) и коэффициента Пуассона (0.26), кроме рассмотренного блока в юго-восточной части площади, отмечаются также в пределах Ангаро-Ленской моноклизы Сибирской платформы на участке Прибайкальского прогиба (рис. 6).

Заключение

С использованием данных региональных землетрясений и данных ГСЗ построены карты площадного распределения граничных скоростей продольных и поперечных волн по границе Мохоровичича территории Прибайкалья и Забайкалья. В построенных картах выделена зона пониженных скоростей как P -, так и S -волн на поверхности мантии в пределах Байкальской рифтовой зоны (так называемая аномальная мантия), что подтверждает гипотезу о частичном плавлении в верхней мантии на участке БРЗ. В юго-восточной части площади на поверхности мантии выделена высокоскоростная зона по данным P - и S -волн. Высказано предположение о её природе как пластины эклогитоподобных пород в зоне Монголо-Охотского орогенного пояса.

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 и сейсмичности.

Работа выполнена в рамках государственного задания № 075-01304-20.

Литература

- Винник Л.П., Орешин С.И., Цыдытова Л.Р., Мордвинова В.В., Кобелев М.М., Хритова М.А., Тубанов Ц.А. Кора и мантия Байкальской рифтовой зоны по данным приёмных функций продольных и поперечных волн // Геодинамика и тектонофизика. – 2017. – Т. 8, № 4. – С. 695–709. doi: 10.5800/GT-2017-8-4-0313.
- 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 пояса и Сибирской платформы: профиль Сквородино–Томмот // Геология и геофизика. – 2013. – Т. 54, № 10. – С. 1583–1599.
- Добрецов Н.Л., Соболев Н.В., Шацкий В.С. и др. Эклогиты и глаукофановые сланцы в складчатых областях. – Новосибирск: Наука, 1989. – 236 с.
- Кашубин С.Н., Петров О.В., Мильштейн Е.Д., Кудрявцев И.В., Андросов Е.А., Винокуров И.Ю., Тарасова О.А., Эрнчек Ю.М. Глубинное строение земной коры и верхней мантии Северо-Восточной Евразии // Региональная геология и металлогения. – 2018. – № 76. – С. 9–21.
- Крылов С.В. О причинах аномальных свойств верхней мантии в рифтовых зонах // Геология и геофизика. – 1976. – № 4. – С. 3–17.
- Крылов С.В., Мандельбаум М.М., Селезнев В.С., Соловьев В.М., Елинов В.Д. Детальные глубинные сейсмические исследования в Верхнеангарском районе Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. – 1990. – Т. 31, № 7. – С. 17–27.
- Мишенькин Б.П., Мишенькина З.Р., Петрик Г.В., Шелудько И.Ф., Мандельбаум М.М., Селезнев В.С., Соловьев В.М. Изучение земной коры и верхней мантии в Байкальской рифтовой зоне методом глубинного сейсмического зондирования // Физика Земли. – 1999. – № 7–8. – С. 74–93.
- Недра Байкала (по сейсмическим данным) / Ред. Н.Н. Пузырев. – Новосибирск: Наука, 1981. – 105 с.
- Нолет Г. Сейсмическая томография. С приложениями в глобальной сейсмологии и разведочной геофизике. – М.: Мир, 1990. – 416 с.
- Парфенов Л.М., Берзин Н.А., Ханчук А.И., Бадарч Г., Беличенко В.Г., Булгатов А.Н., Дриль С.И., Кириллова Г.Л., Кузьмин М.И., Ноклеберг У., Прокопьев А.В., Тимофеев В.Ф., Томуртоого О., Янь Х. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22, № 6. – С. 1–41.
- Селезнев В.С., Соловьев В.М. О мантийных поперечных сейсмических волнах в Байкальской рифтовой зоне // Геология и геофизика. – 1979. – № 2. – С. 87–95.

- Соловьев В.М. Использование поперечных волн при глубинном сейсмическом зондировании в Якутской кимберлитовой провинции: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. — Новосибирск, 1988. — 16 с.
- Соловьев В.М., Сальников А.С., Селезнев В.С., Елагин С.А., Романенко И.Е., Галёва Н.А. Глубинные сейсмические исследования на Байкало-Патомском фрагменте Восточного участка опорного профиля 1-СБ // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2017. — Т. 3. — С. 106–112.
- Соловьев В.М., Селезнев В.С., Сальников А.С., Лисейкин А.В., Романенко И.Е., Елагин С.А., Шенмайер А.Е., Серезников Н.А. Глубинное строение Забайкальского участка Центрально-Азиатского складчатого пояса по данным ГСЗ (в створе опорного профиля 1-СБ) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. — 2017. — Т. 4, № 4. — С. 91–103.
- Соловьев В.М., Чечельницкий В.В., Сальников А.С., Селезнев В.С., Лисейкин А.В., Галёва Н.А. Особенности скоростного строения верхней мантии Забайкалья на участке Монголо-Охотского орогенного пояса // Геодинамика и тектонофизика. — 2017. — Т. 8, № 4. — С. 1065–1082. doi:10.5800/GT-2017-8-4-0333.
- Солоненко В.П. Сейсотектоника и современное структурное развитие Байкальской рифтовой зоны // Байкальский рифт. — М.: Наука, 1968. — С. 57–71.
- Шевченко Б.Ф., Горошко М.В., Диденко А.Н., Гурьянов В.А., Старосельцев В.С., Сальников А.С. Глубинное строение, мезозойская тектоника и геодинамика области сочленения восточной части Центрально-Азиатского пояса и Сибирской платформы // Геология и геофизика. — 2011. — Т. 52 (12). — С. 2122–2131.
- Mordvinova V.V., Artemyev A.A. The three-dimensional shear velocity structure of lithosphere in the southern Baikal rift system and its surroundings // Russian Geology and Geophysics. — 2010. — V. 51, N 6. — P. 694–707.
- Nielsen C., Thybo H. Lower crustal intrusions beneath the southern Baikal Rift Zone: evidence from full-waveform modelling of wide-angle seismic data // Tectonophysics. — 2009. — V. 470, N 3–4. — P. 298–318.
- Petit C., Koulakov I., Deverchère J. Velocity structure around the Baikal rift zone from teleseismic and local earthquake travel times and geodynamic implications // Tectonophysics. — 1998. — V. 296, N 1–2. — P. 125–144.
- Suvorov V.D., Mishenkina Z.M., Petrick G.V., Sheludko I.F., Solovyov V.M. Structure of crust in the Baikal rift zone and adjacent areas from Deep Seismic Sounding data // Tectonophysics. — 2002. — V. 351. — P. 61–74.
- Ten Brink U.S., Taylor M.H. Crustal structure of central Lake Baikal: Insights into intercontinental rifting // Journal of Geophysical Research: Solid Earth. — 2002. — V. 107, B7. — P. ETG 2-1-ETG 2-15.
- Zorin Y.A., Mordvinova V.V., Turutanov E.K., Belichenko B.G., Artemyev A.A., Kosarev G.L., Gao S.S. Low seismic velocity layers in the Earth's crust beneath Eastern Siberia (Russia) and Central Mongolia: receiver function data and their possible geological implication // Tectonophysics. — 2002. — V. 359, N 3–4. — P. 307–327.

Сведения об авторах

Виктор Михайлович Соловьев, канд. геол.-мин. наук, зам. директора Алтае-Саянского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (АСФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Новосибирск, Россия. E-mail: solov@gs.nsc.ru

Виктор Сергеевич Селезнев, д-р геол.-мин. наук, директор Сейсмологического филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (СЕФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Новосибирск, Россия. E-mail: sel@gs.nsc.ru

Владимир Васильевич Чечельницкий, канд. геол.-мин. наук, зам. директора Байкальского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (БФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Иркутск, Россия. E-mail: chechel@crust.irk.ru

Наталья Александровна Галёва, мл. науч. сотр. Алтае-Саянского филиала Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба Российской академии наук» (АСФ ФИЦ ЕГС РАН), г. Новосибирск, Россия. E-mail: tatapelya@gmail.com

Upper mantle of Baikal and Transbaikalia according to the area data of seismological research

© 2020 V.M. Solovyev¹, V.S. Seleznev², V.V. Chechelnitzsky³, N.A. Galyova¹

¹ASB GS RAS, Novosibirsk, Russia; ²SEB GS RAS, Novosibirsk, Russia; ³BB GS RAS, Irkutsk, Russia

Abstract According to the areal interpretation of seismological data from sufficiently strong earthquakes, new information on the velocity structure of the upper mantle of the Baikal and Trans-Baikal regions is presented. Based on the results of a tomographic interpretation of the travel times of P and S waves from the Mokhorovichich border, maps of the boundary velocities of longitudinal and transverse waves in the Baikal and Transbaikalia, the ratios of the velocities of the P and S waves (V_p/V_s), and the distribution of the Poisson's ratio (σ) are constructed. The boundary velocity in the northwestern, northern, and northeastern parts of the research area (within the Baikal rift zone) according to longitudinal and transversal waves has lower values of 7.80-7.95 km/s and 4.45-4.55 km/s, respectively. In the upper mantle of the southeastern part of the area, the mantle block is about 600x600 km in size with high longitudinal and transversal wave's velocities of 8.40-8.45 km/s and 4.80-4.85 km/s respectively, and increased values of V_p/V_s and σ . The assumption of its nature as a plate of eclogites (or eclogite-like rocks) in the region of the Mongol-Okhotsk orogenic belt is justified. The results were compared with materials from other research.

Keywords Baikal and Transbaikalia, border of Mokhorovichich, seismological data, boundary velocities of P and S waves, Poisson's ratio.

For citation Solovyev, V.M., Seleznev, V.S., Chechelnitzsky, V.V., & Galyova, N.A. (2020). Upper mantle of Baikal and Transbaikalia according to the area data of seismological research. *Rossiiskii seismologicheskii zhurnal* [Russian Journal of Seismology], 2(1), 7-17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35540/2686-7907.2020.1.01>

References

- 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. (2013). [Structure and evolution of the Earth's crust in the region of junction of the Central Asian Fold Belt and the Siberian Platform: Skovorodino-Tommot profile]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 54(10), 1583-1599. (In Russ.).
- Dobrecov, N.L., Sobolev, N.V., Shackij, B.C. et al. (1989). *Eklogity i glaukofanovyie slancy v skladchatykh oblastyakh* [Eclogites and blue schist in folded areas]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 236 p. (In Russ.).
- 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. (2018). [Deep structure of the Earth's crust and upper mantle in Northeastern Eurasia]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya* [Regional Geology and Metallogeny], 76, 9-21. (In Russ.).
- Krylov, S.V., Mandel'baum, M.M., Seleznev, V.S., Solov'ev, V.M., & Elinov, V.D. (1990). [Detailed deep seismic surveys in the Upper Angarsk region of the Baikal rift zone]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 31(7), 17-27. (In Russ.).
- Krylov, S.V. (1976). [On the causes of the anomalous properties of the upper mantle in rift zones]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 4, 3-17. (In Russ.).
- Mishen'kin, B.P., Mishen'kina, Z.R., Petrik, G.V., Shelud'ko, I.F., Mandel'baum, M.M., Seleznev, V.S., & Solov'ev, V.M. (1999). Deep seismic sounding of the Earth's crust and upper mantle in the Baikal rift zone. *Izvestiya. Physics of the Solid Earth*, 35(7-8), 594-611.
- Mordvinova, V.V., & Artemyev, A.A. (2010). The three-dimensional shear velocity structure of lithosphere in the southern Baikal rift system and its surroundings. *Russian Geology and Geophysics*, 51(6), 694-707.
- Nielsen, C., & Thybo, H. (2009). Lower crustal intrusions beneath the southern Baikal Rift Zone: evidence from full-waveform modelling of wide-angle seismic data. *Tectonophysics*, 470(3-4), 298-318.
- Nolet, G. (1990). *Sejsmicheskaya tomografiya. S prilozheniyami v global'noj seismologii i razvedochnoj geofizike* [Seismic tomography. With applications in global seismology and exploration geophysics]. Moscow, Russia: Mir Publ., 416 p. (In Russ.).
- Parfenov, L.M., Berzin, N.A., Hanchuk, A.I., Badarch, G., Belichenko, V.G., Bulgatov, A.N., Dril', S.I., Kirillova, G.L., Kuz'min, M.I., Nokleberg, U., Prokop'ev, A.V., Timofeev, V.F., Tomurtogoo, O., & Yan', H. (2003). [A model for the formation of orogenic belts in Central and Northeast Asia]. *Tihookeanskaya geologiya* [Russian Journal of Pacific Geology], 22(6), 1-41. (In Russ.).

- Petit, C., Koulakov, I., & Deverchère, J. (1998). Velocity structure around the Baikal rift zone from teleseismic and local earthquake travel times and geodynamic implications. *Tectonophysics*, 296(1-2), 125-144.
- Puzyrev, N.N. (Ed.). (1981). *Nedra Bajkala (po sejsmicheskim dannym)* [Bowels of Baikal (according to seismic data)]. Novosibirsk, Russia: Nauka Publ., 105 p. (In Russ.).
- Seleznev, V.S., & Solov'ev, V.M. (1979). [On mantle transverse seismic waves in the Baikal rift zone]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 2, 87-95. (In Russ.).
- Shevchenko, B.F., Goroshko, M.V., Didenko, A.N., Gur'yanov, V.A., Starosel'cev, V.S., & Sal'nikov, A.S. (2011). [The junction of the eastern Central Asian Fold Belt and the Siberian Platform: Deep structure and Mesozoic tectonics and geodynamics]. *Geologiya i geofizika* [Russian Geology and Geophysics], 52(12), 2122-2131. (In Russ.).
- Solonenko, V.P. (1968). [Seismotectonics and modern structural development of the Baikal rift zone]. In *Baikal'skii rift* [Baikal rift] (pp. 57-71). Moscow, Russia: Nauka Publ. (In Russ.).
- Solov'ev, V.M. (1988). *Ispol'zovanie poperechnykh voln pri glubinnom sejsmicheskom zondirovanii v Yakutskoj kimberlitovoj provincii*. Dis. kand. geol.-min. nauk [The use of shear waves in deep seismic sounding in the Yakut kimberlitic province. Cand. geol. and mineral. sci. diss.]. Novosibirsk, Russia, 16 p. (In Russ.).
- Solov'ev, V.M., Sal'nikov, A.S., Seleznev, V.S., Elagin, S.A., Romanenko, I.E., & Galeva, N.A. (2017). [Deep seismic sounding at Baikal-Patom fragment of eastern section 1-SB profile]. *Interekspo Geo-Sibir'* [Interexpo GEO-Siberia], 3, 106-112. (In Russ.).
- Solov'ev, V.M., Seleznev, V.S., Sal'nikov, A.S., Lisejkin, A.V., Romanenko, I.E., Elagin, S.A., Shenmajer, A.E., & Serezhnikov, N.A. (2017). [Features of seismic structures of the Transbaikalian part of the Central Asian orogenic belt along the 1-SB geophysical profile]. *Geologiya, geofizika i mineral'noe syr'e Sibiri* [Geology and mineral resources of Siberia], 4(4), 91-103. (In Russ.).
- Soloviev, V.M., Chechel'nitsky, V.V., Sal'nikov, A.S., Seleznev, V.S., Lisejkin, A.V., & Galyova, N.A. (2017). Specific velocity structure of the upper mantle in the Transbaikalia segment of the Mongolia-Okhotsk orogenic belt. *Geodynamics & Tectonophysics*, 8(4), 1065-1082. doi: 10.5800/GT-2017-8-4-0333.
- Suvorov, V.D., Mishenkina, Z.M., Petrick, G.V., Sheludko, I.F., Seleznev, V.S., & Solovyov, V.M. (2002). Structure of the crust in the Baikal rift zone and adjacent areas from Deep Seismic Sounding data. *Tectonophysics*, 351(1-2), 61-74.
- Ten Brink, U.S., & Taylor, M.H. (2002). Crustal structure of central Lake Baikal: Insights into intercontinental rifting. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 107(B7), ETG-2.
- Vinnik, L.P., Oreshin, S.I., Tsydypova, L.R., Mordvinova, V.V., Kobelev, M.M., Khritova, M.A., & Tubanov, Ts.A. (2017). Crust and mantle of the Baikal rift zone from P- and S-wave receiver functions. *Geodynamics & Tectonophysics*, 8(4), 695-709. doi: 10.5800/GT-2017-8-4-0313.
- Zorin, Y.A., Mordvinova, V.V., Turutanov, E.K., Belichenko, B.G., Artemyev, A.A., Kosarev, G.L., & Gao, S.S. (2002). Low seismic velocity layers in the Earth's crust beneath Eastern Siberia (Russia) and Central Mongolia: receiver function data and their possible geological implication. *Tectonophysics*, 359(3-4), 307-327.

Information about authors

Victor Mikhailovich Solovyev, PhD, Deputy Director of the Altai-Sayan Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (ASB GS RAS), Novosibirsk, Russia. E-mail: solov@gs.nsc.ru

Viktor Sergeevich Seleznev, Dr., Director of the Seismological Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (SEB GS RAS), Novosibirsk, Russia. E-mail: sel@gs.nsc.ru

Vladimir Vasil'yevich Chechel'nitsky, PhD, Deputy Director of the Baikal Branch of Geophysical Survey of the Russian Academy of Sciences (BB GS RAS), Irkutsk, Russia. E-mail: chechel@crust.irk.ru

Natalya Aleksandrovna Galyova, Junior Researcher of the ASB GS RAS, Novosibirsk, Russia. E-mail: tatapelya@gmail.com