



УДК 550.834:551.243(571.56-11)

ВРЕМЕННЫЕ РАЗРЕЗЫ ГОЛОВНЫХ ВОЛН ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ НА ОПОРНОМ ПРОФИЛЕ 3-ДВ (СЕВЕРО-ЗАПАДНЫЙ УЧАСТОК)

П. О. Полянский¹, А. С. Сальников², А. Ф. Еманов¹, В. В. Жабин²¹Алтае-Саянский филиал Единой геофизической службы РАН, Новосибирск, Россия; ²Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья, Новосибирск, Россия

С помощью метода динамического пересчета головных волн построены временные разрезы в зоне разных тектонических структур: Алданской антеклизы, Предверхооянского краевого прогиба, Сетте-Дабанского тектонического блока и Верхояно-Колымской складчатой системы. Глубины, к которым преломлены преломляющие границы, отображаемые на полученных временных разрезах, – 0,7–2,1 км. Граничные скорости продольных головных волн в Сетте-Дабанской складчатой системе составляют 6,2–6,8 км/с, что выше, чем в пределах Предверхооянского краевого прогиба (4,2–5,2 км/с) и западной части Верхояно-Колымской складчатой системы (4,5–4,7 км/с). Для участка профиля, пересекающего Сетте-Дабанский блок и западную часть Верхояно-Колымской складчатой системы, оценено отношение времен пробега продольных и поперечных головных волн. В пределах Сетте-Дабанской зоны зафиксированы более высокие значения T_s/T_p (1,8–1,95), чем в области Верхояно-Колымской складчатой системы (1,65–1,75).

Ключевые слова: геофизический профиль 3-ДВ, головные волны, фильтр Винера.

HEAD WAVE TIME SECTIONS OF THE UPPER EARTH'S CRUST ALONG THE SURVEY BASE LINE 3-DV (NORTHWESTERN BLOCK)

P. O. Polyansky¹, A. S. Salnikov², A. F. Emanov¹, V. V. Zhabin²¹Altai-Sayan Branch of the Geophysical Survey of RAS, Novosibirsk, Russia; ²Siberian Research Institute of Geology, Geophysics and Mineral Resources, Novosibirsk, Russia

The dynamic head wave conversion method allowed building time sections of various tectonic structures: the Aldan syncline, the Predverkhoyansky foredeep, the Sette-Daban tectonic block, and the Verkhoyano-Kolymskaya folded system. The refractors present in the time sections acquired occur at a depth of 0.7–2.1 km. The refractor velocities of head waves within the Sette-Daban folded system are 6.2–6.8 km/s, exceeding those within the Predverkhoyansky foredeep (4.2–5.2 km/s) and within the western Verkhoyano-Kolymskaya folded system (4.5–4.7 km/s). The S to P head wave travel time ratio was calculated for the survey base line block crossing the Sette-Daban block and the western Verkhoyano-Kolymskaya folded system. Within the Sette-Daban zone, the T_s/T_p ratios (1.8–1.95) are higher than in the Verkhoyano-Kolymskaya folded system (1.65–1.75).

Keywords: geophysical survey base line 3-DV, head waves, Wiener filter.

DOI 10.20403/2078-0575-2017-2-112-122

Разработка алгоритмов динамического пересчета головных волн при системах наблюдений с многократными перекрытиями [5, 7, 11] предоставила возможность извлекать из данных сейсморазведки МОВ-ОГТ информацию о преломляющих границах. Глубина их изучения примерно в 5–10 раз меньше максимального удаления источник – приемник, следовательно, для этого в верхней части земной коры наиболее привлекательны системы наблюдения с регистрацией волн от источника до 10–30 км. Такими системами наблюдений, чаще всего, являются исследования на опорных геофизических профилях [3], в комплекс которых входят МОГТ и КМПВ. Метод динамического пересчета неоднократно применялся для построения динамических временных разрезов на участках протяженностью десятки километров [1, 4, 6, 9]. Здесь представлены результаты обработки преломленных волн с построением динамического разреза по сейсмическим записям МОВ-ОГТ на опорном геолого-геофизическом профиле 3-ДВ на Северо-Западном участке (рис. 1) [3]. Эта статья – продолжение работ [2, 10], в ко-

торых приведены результаты обработки методом динамического пересчета и геологической интерпретации данных головных волн, полученных на Центральном и Северо-Восточном участках профиля 3-ДВ. Автоматизированная обработка головных волн выполнена вдоль профиля протяженностью более 700 км, расположенного в области сочленения Евразийской, Охотоморской и Северо-Американской континентальных плит.

Полевые сейсморазведочные работы МОВ-ОГТ на Северо-Западном участке профиля 3-ДВ выполнялись обособленным подразделением «Спецгеофизика» (ГФУП «ВНИИГеофизика»).

Геологическая характеристика исследуемого района

Северо-Западный участок профиля 3-ДВ пересекает с запада на восток две крупные тектонические структуры: юго-восточную часть Сибирской платформы и Верхояно-Колымскую складчатую область (рис. 1, 2). Граница между ними проведена по глубинному мантийному разлому по поверхности на

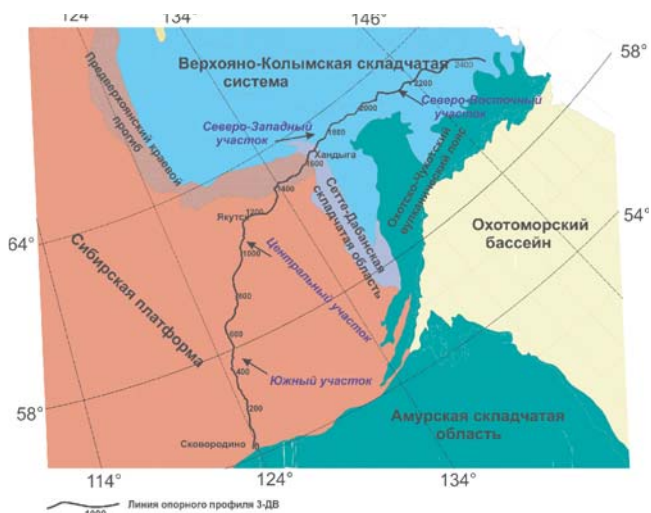


Рис. 1. Геологическая схема района исследований, по данным карты кратонов и орогенных поясов Центральной и Восточной Азии [8], с изменениями

ПК 1720–1725 км. На рис. 3 приведен геологический разрез верхней части земной коры по профилю 3-ДВ.

Алданская антеклиз и Предверхоаянский прогиб в сечении профиля 3-ДВ представлены субгоризонтально залегающими осадочными толщами юрской, меловой, палеогеновой и неогеновой систем; геологическое строение мезозоя осложнено позднемеловыми среднего состава и субщелочными интрузивными образованиями.

Сетте-Дабанская зона разбита на меридионально вытянутые на 100 км узкие пластины, взброшенные и надвинутые друг на друга, пронизанные многочисленными дайками диабазов и диабазовых порфиритов среднепалеозойского возраста. В ее южной части встречаются массивы ультраосновных и щелочных пород с карбонатами того же возраста. В разрезах среднего – позднего девона и раннего карбона присутствуют metabазальты и базальтовые порфириты, туфы основных пород.

Верхояно-Колымская складчатая область представлена толщами осадочных пород пермского и триасового возраста, которые пересекаются разломами. Таким образом, подобно Сетте-Дабанской области Верхояно-Колымская складчатая область также характеризуется блоковым строением.

Динамический пересчет головных волн и анализ временных разрезов

Динамический пересчет головных волн для сейсморазведки с многократными перекрытиями обоснован в работе [7] и развит в статьях [5, 11]. Алгоритмы динамического пересчета основаны на свойстве когерентности головных волн в пространстве и на теории винеровской фильтрации.

Такая методика позволяет выделять из первичного волнового поля волновые поля головных и кратных головных волн, которые характеризуются параллельными нагоняющими годографами, и пересчитывать их в динамические временные разрезы

или в сейсмограммы общего пункта взрыва (ОПВ), суммируя в соответствии с кратностью системы. При этом волны, нагоняющие годографы которых не параллельны, а также случайные помехи подавляются. В рамках метода временным разрезом на заданной базе $L_p = \text{const}$ обобщенной плоскости является набор трасс, в котором присутствуют только волны с параллельными нагоняющими годографами.

Термином «база» в рамках метода динамического пересчета головных волн условимся называть не интервал удалений, а фиксированное значение удаления источник – приемник, присущее точке 1 обобщенной плоскости (рис. 4).

С помощью этой технологии, можно производить не только пересчет волнового поля на базы $L_{\min} < L_p < L_{\max}$ (см. рис. 4), но и «вверх» – на базы, превышающие максимальные удаления в области прослеживания целевой волны, или «вниз» – на базы $L_p < L_{\min}$, например, такие как линия начальных точек головной волны.

Для того чтобы отождествить построенные временные разрезы с геологическими образованиями, производится оценка глубины до исследуемых преломляющих границ. Алгоритм такого определения заключается в следующем:

1. Для соответствующих пар прямых (t_1) и встречных (t_2) годографов фиксируется значение взаимного времени (T), соответствующего данной головной волне.

2. Два временных разреза одной и той же головной волны на разных базах в области прослеживания этой волны позволяют приблизительно оценить латеральное распределение ее граничной скорости (V_g): разность баз временных разрезов делим на разность времен пробега преломленной волны. Каждое значение граничной скорости привязываем к соответствующему пикету, удаленному от источника на величину, равную среднему значению баз временных разрезов.

3. Для каждого из таких пикетов определяем значения времени пробега головной волны во встречных направлениях. Используя информацию о значениях средних скоростей (V_{cp}) в верхней части земной коры, для вычисления глубины (H) до преломляющей границы применяем метод t_0 . На рис. 5 приведена схема вычисления граничной скорости и глубины до преломляющей границы.

Система наблюдения

Для возбуждения волновых полей на профиле использовались вибрационные источники, отработано 7100 пунктов возбуждения. Наблюдения проводились непрерывным профилированием по системе встречных и нагоняющих годографов.

Поскольку работы производились вдоль автомобильной трассы, которая не является прямой линией, то максимальное удаление источник-приемник не было постоянным, варьируя в пределах 9–10 км. Расстояние между сейсмоприемниками со-

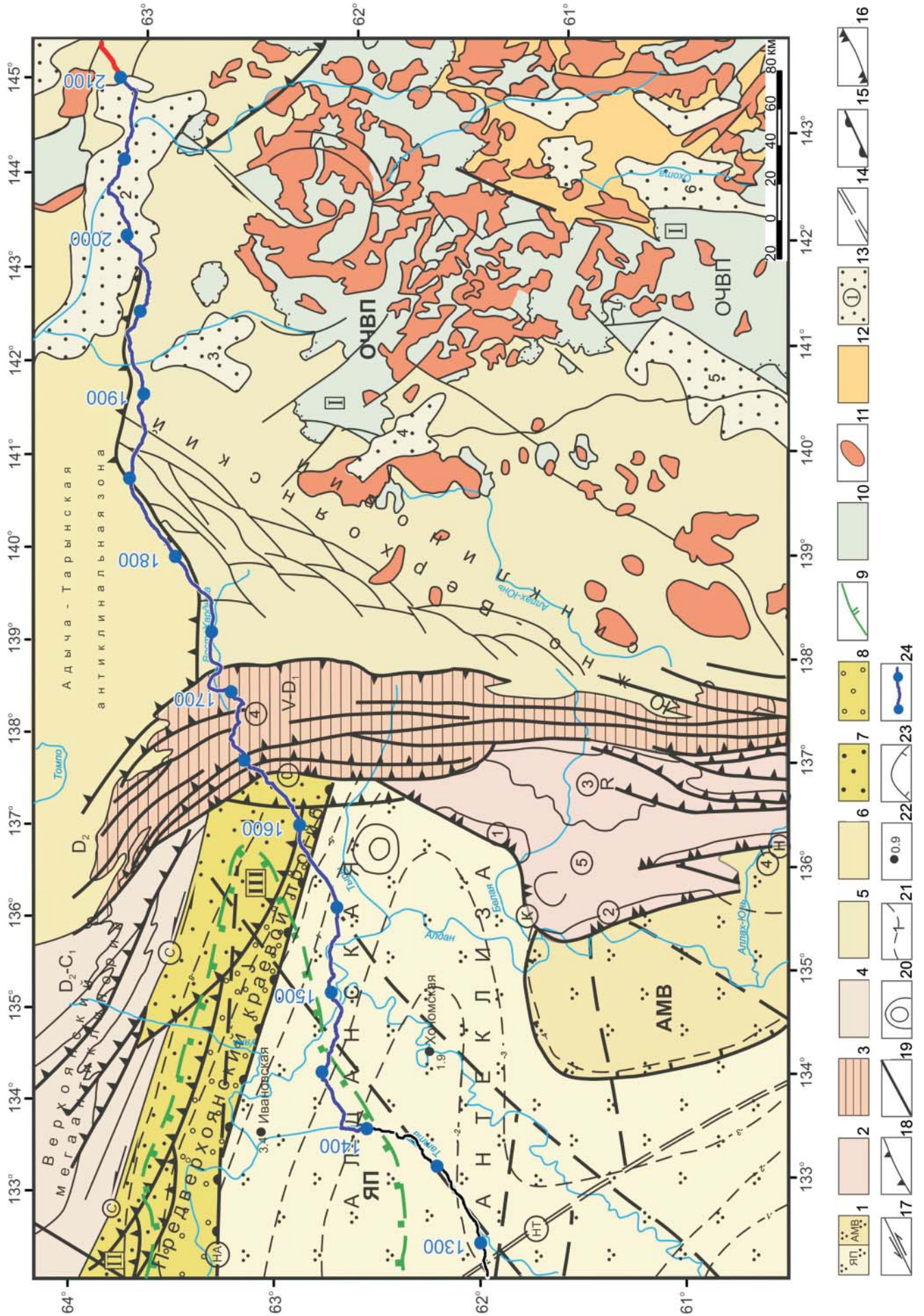


Рис. 2. Тектоническая схема района работ по данным Государственных геологических карт, листы Р-52, 53 (Якутск) и Р-54, 55 (Оймякон), ВСЕГЕИ, 1999

Сибирская платформа: 1 – Алданская антеклиз (отложения эпиконтинентальных бассейнов: юрские – нижнемеловые (ЯП – Якутское поднятие; АМВ – Алдано-Майская впадина); Верхояно-Колымская покровно-складчатая область (деформированная пассивная окраина Сибирской платформы); 2–3 – краевые чешуйчато-надвиговые зоны: 2 – Кыллахская, 3 – Сетте-Дабанская; цифры в кружках на схеме: 1–4 – антиклинали; 4 – Верхоянский мегантиклинорий; 5 – Южно-Верхоянский синклинорий; 6 – Адыча-Тарынская антиклинальная зона; 7–8 – Предверхоянский краевой прогиб: 7 – внутренняя зона, 8 – внешняя зона; 9 – граница Нижнеалданской кайнозойской наложенной впадины; 10 – структуры активных окраин: альб-поздне меловой Охотско-Чукотский вулканоплутонический пояс (ОЧВП); 11 – тела раннемеловых коллизионных интрузий (на суше), 12 – Охотский микроконтинент; 13 – континентальные впадины; 14–15 – разломы: 14 – проявленный в кристаллическом фундаменте и нижних горизонтах чехла (НТ – Ноторский), 15 – ограничивающий внешнюю зону Приверхоянского краевого прогиба (НА – Нижнеалданский); 16–19 – выходящие на поверхность: 16 – передовые надвиги Верхояно-Колымской покровно-складчатой системы (О – Украинный, К – Кыллыкский, Н – Нельканский); 17 – зона левых сдвигов (С – Сордогинский), 18 – надвиги и взбросо-надвиги, 19 – взбросы; 20 – кольцевые структуры по данным дешифрирования космо- и фотоматериалов; 21 – изогипсы кровли кристаллического фундамента; 22 – отметки кровли кристаллического фундамента по данным бурения; 23 – контуры поднятий и впадин в цоколе Алданской антеклизы; 24 – опорный профиль 3-ДВ (Северо-Западный участок)

ставляло 40–50 м, между источниками – 90–100 м в зависимости от кривизны автомобильной дороги. Таким образом, на всем протяжении исследуемого участка длиной около 700 км азимут профиля изменялся. На вход алгоритма динамического пересчета подавалась сейсмограмма, содержащая записи от 50–75 отработанных пунктов возбуждения (ПВ). Координаты ПВ характеризуются географическими координатами виброисточника, сейсмические трассы – географическими координатами центров каналов, представленными в прямоугольной системе координат СК-42. Итоговый временной разрез состоит из трасс, расположенных последовательно по всей длине исследуемого участка профиля. При нанесении на карту географических координат всех трасс, содержащихся в построенном временном разрезе, полученная кривая совпадает с линией Северо-Западного участка профиля 3-ДВ.

Анализ волновой картины

Рассмотрим возможности динамического пересчета при анализе волновых полей, зарегистрированных на различных интервалах Северо-Западного участка профиля 3-ДВ.

На рис. 6, а показана исходная сейсмограмма ОПВ, источник расположен на ПК 1560 км. В качестве полезной информации для динамического пересчета использована сейсмограмма ОГТ, содержащая записи от 75 виброисточников, последовательно расположенных в зоне сочленения Алданской антеклизы и Предверхоянского краевого прогиба (шаг между соседними ПВ 90–100 м). На рис. 6, б приведен результат пересчета волнового поля в сейсмограмму ОПВ с координатой источника 1560 км. Преломленные волны, соответствующие границам в верхней части земной коры и фиксируемые на сейсмограммах, выходят в первые вступления на удалениях от источника 2000–3000 м. Поэтому для пересчета был использован диапазон удалений 2500–10000 м.

На исходной сейсмограмме на удалениях от источника 50–2700 м в первых вступлениях прослеживается волна с кажущейся скоростью 1,9–2 км/с. На

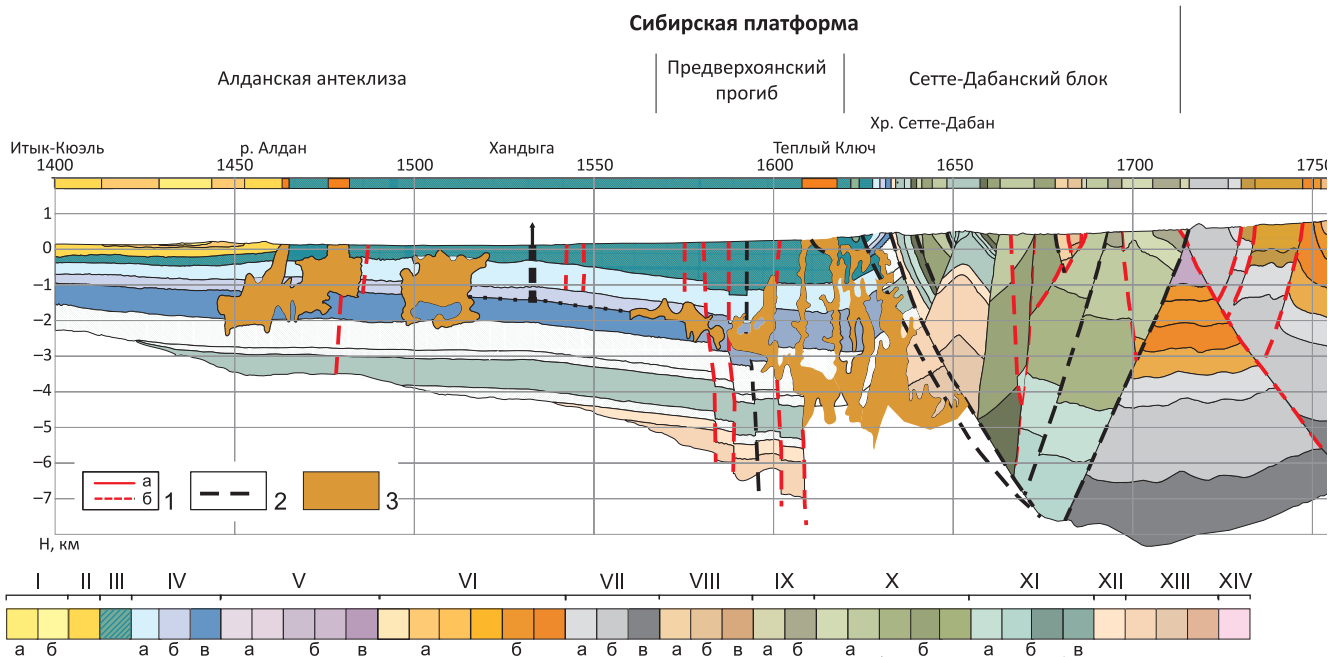
удалениях 2500–5000 м эта волна прослеживается в последующих вступлениях, затухая с увеличением расстояния от источника. В результате пересчета волнового поля сигналы, соответствующие этой волне, удается проследить на удалениях до 6000 м (см. рис. 6, б).

На удалениях от источника более 2500 м в первые вступления выходит продольная волна (желтый пунктир на рис. 6), кажущаяся скорость которой составляет 4,5–5 км/с. Сравнивая сейсмограммы на рис. 6, видим, что сигнал, соответствующий этой волне, прослеживается как на исходной сейсмограмме, так и после пересчета. Таким образом, имеет место параллельность нагоняющих годографов. Поэтому волна, показанная желтым пунктиром, является преломленной.

На удалениях от источника 3500–8000 м в последующих вступлениях фиксируется волновое поле еще одной продольной волны (красный пунктир на рис. 6). На удалениях свыше 8000 м она выходит в первые вступления. Ее кажущаяся скорость 5,9–6,1 км/с. На сейсмограмме, полученной в результате динамического пересчета (см. рис. 6, б), уверенно прослеживается волновое поле этой преломленной волны. Поскольку ее кажущаяся скорость превышает таковую преломленной волны, показанной желтым пунктиром, то, вероятно, она соответствует более глубоко залегающей преломляющей границе.

Рассмотрим волновое поле, прослеживаемое в последующих вступлениях на удалениях более 5000 м (зеленый пунктир). На сейсмограмме, полученной в результате динамического пересчета, амплитуды сигналов, соответствующих этой волне, значительно меньше, чем на исходной сейсмограмме: при динамическом пересчете происходит подавление указанной волны. Вероятнее всего, эта волна является отраженной.

Перейдем к примеру динамического пересчета волнового поля, зарегистрированного в пределах Верхояно-Колымской складчатой системы. На рис. 7, а показана сейсмограмма ОПВ, источник расположен на ПК 1920 км. На рис. 7, б показан ре-



зультат динамического пересчета волнового поля в сейсмограмму ОПВ, источник находится на ПК 1920 км.

В первых вступлениях исходной сейсмограммы, как и сейсмограммы-результата, в интервале удалений 800–3900 м, прослеживается продольная волна с кажущейся скоростью 4,1–4,4 км/с (розовый пунктир на рис. 7). На интервале удалений 4000–10000 м на обеих сейсмограммах в первых вступлениях фиксируется продольная волна (синий пунктир), кажущаяся скорость которой составляет 5,4–5,6 км/с.

В качестве области полезной информации для пересчета был использован диапазон удалений 800–10000 м.

Как уже говорилось, с помощью используемого алгоритма возможен пересчет волнового поля на базы, превышающие максимальные удаления в областях прослеживания головных волн. Так, в отличие от исходной сейсмограммы, на которой максимальное удаление источник – сейсмоприемник составляет 10000 м, на сейсмограмме, построенной посредством пересчета волнового поля, – 16000 м (общая длина расстановки в сейсмограмме ОГТ, подаваемой на вход алгоритма). Красной рамкой ограничены все трассы, присутствующие на исходной сейсмограмме.

Таким образом, в результате динамического пересчета удалось получить сигналы, соответствующие второй продольной преломленной волне (синий пунктир на рис. 7) и непрерывно прослеживаемые в первых вступлениях на удалениях 3900–16000 м, без существенного понижения отношения сигнал/помеха. Ее кажущаяся скорость составляет 5,4–5,7 км/с.

Резюмируя, можно уверенно говорить о наличии в верхней части земной коры Верхояно-Колымской складчатой системы преломляющих границ.

Интерпретация временных разрезов преломленных волн

В рамках описываемого исследования для Северо-Западного участка профиля 3-ДВ были построены временные разрезы на базах 5000 и 7000 м. Выбор баз обусловлен тем, что головные волны, соответствующие преломляющим границам в верхней части земной коры, прослеживаются в первых вступлениях на удалениях, которые на большей части Северо-Западного участка профиля превышают 3000 м. Базы 5000 м и 7000 м на всем протяжении участка расположены «внутри» областей прослеживания целевых волн, и поэтому отношение сигнал/помеха при пересчете на такие базы при последовательном пересчете волнового поля не будет понижаться.

На рис. 8 приведен временной разрез по Северо-Западному участку профиля 3-ДВ, полученный пересчетом волнового поля на базу 7000 м, а на рис. 10, а показан фрагмент временного разреза профиля (1550–1780 км) на базе 7000 м.

Сопоставляя полученный временной разрез с тектонической картой региона (см. рис. 2), выделим на временном разрезе зону Алданской антеклизы, Предверхоанский краевой прогиб, Сетте-Дабанский тектонический блок, Верхояно-Колымскую складчатую область. Диапазон глубин, в котором располагаются исследуемые преломляющие границы, составляет 0,7–2,1 км.

По временным разрезам на базах 5000 и 7000 м были оценены граничные скорости продольных головных волн, прослеживаемых в первых вступлениях на Северо-Западном участке профиля 3-ДВ. График распределения скорости по латерали для всего Северо-Западного участка профиля 3-ДВ приведен на рис. 9, а на рис. 10, б – графики граничных скоростей продольных преломленных волн для участка профиля 1550–1780 км.

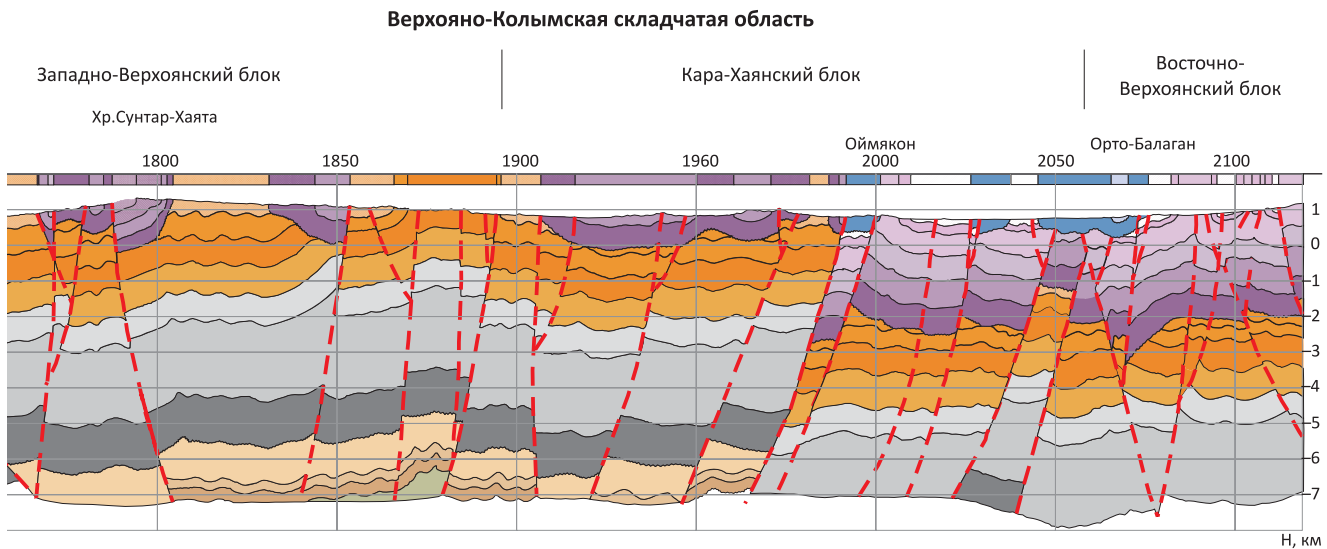


Рис. 3. Геологический разрез верхней части коры по профилю 3-ДВ (Северо-Западный участок)

1 – разломы (а – достоверные, б – предполагаемые), 2 – надвиги, 3 – позднемеловые интрузивные образования (средние субщелочные породы – сиениты, монцодиориты). Осадочные породы: I – неогеновая система (а – нижний плиоцен, б – средний миоцен); II – палеогеновая система (олигоцен); III – меловая система (нижний отдел); IV – юрская система, отделы: а – верхний, б – средний, в – нижний; V – триасовая система, отделы: а – верхний, б – средний, в – нижний; VI – пермская система, отделы: а – верхний, б – нижний; VII – каменноугольная система; VIII – девонская система, отделы: а – верхний, б – средний, в – нижний; IX – силурийская система, отделы: а – верхний, б – нижний; X – ордовикская система, отделы: а – верхний, б – средний; XI – кембрийская система, отделы: а – верхний, б – средний, в – нижний; XII – венд; XIII – рифей (верхний, средний, нижний отделы); XIV – архей

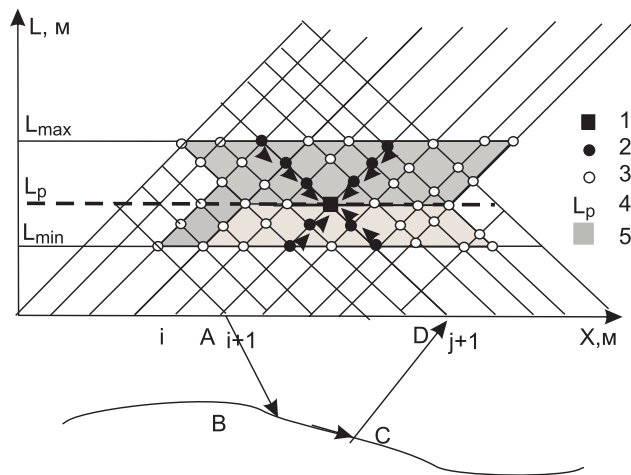


Рис. 4. Лучевая схема головной волны и схематическое изображение области полезной информации для пересчета головных волн (маленькими черными стрелками показаны шаги последовательного пересчета волнового поля в точку 1)

1 – точка, в которую производится пересчет волнового поля; 2 – точки, из которых пересчитываем волновое поле; 3 – точки, используемые для построения фильтров пересчета; 4 – база пересчета; 5 – область информации, используемой для пересчета волнового поля

На отрезке профиля (1400–1450 км), пересекающем центральную часть Алданской антеклизы, значения граничной скорости продольных головных волн варьируют в пределах 5,8–6,2 км/с. В восточной части антеклизы (1450–1560 км) скорость изменяется в интервале 4–4,5 км/с. Подобный контраст может быть обусловлен различной геологической

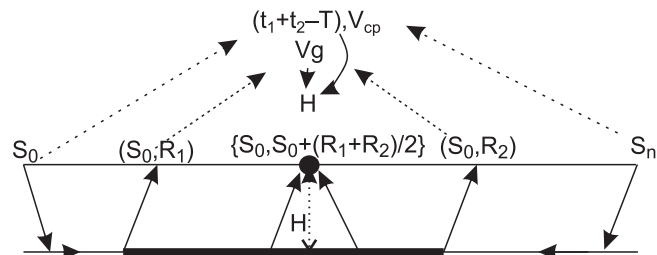


Рис. 5. Схема оценки граничной скорости головной волны и глубины до преломляющей границы (S_0, S_n – источники, R_1, R_2 – сейсмоприемники. Черный кружок – пикет, к которому привязываем значение граничной скорости V_g и глубины H)

природой преломляющих границ, которым соответствуют волны, фиксируемые в первых вступлениях в пределах центральной и восточной частей Алданской антеклизы: как показано работе [10], преломляющая граница в центральной части антеклизы представляет собой кровлю кристаллического фундамента, а в восточной части она расположена в осадочном чехле.

Более подробно рассмотрим участок профиля, располагающийся в зоне сочленения Алданской антеклизы и Предверхоанского краевого прогиба (1540–1620 км). В интервале временного разреза 1540–1590 км (см. рис. 10, а) в первых и последующих вступлениях фиксируются две продольные преломленные волны. Граничная скорость (см. рис. 10, б) волны последующих вступлений (красная линия на рис. 6) лежит в интервале 5,9–6,2 км/с и превышает таковую волны первых

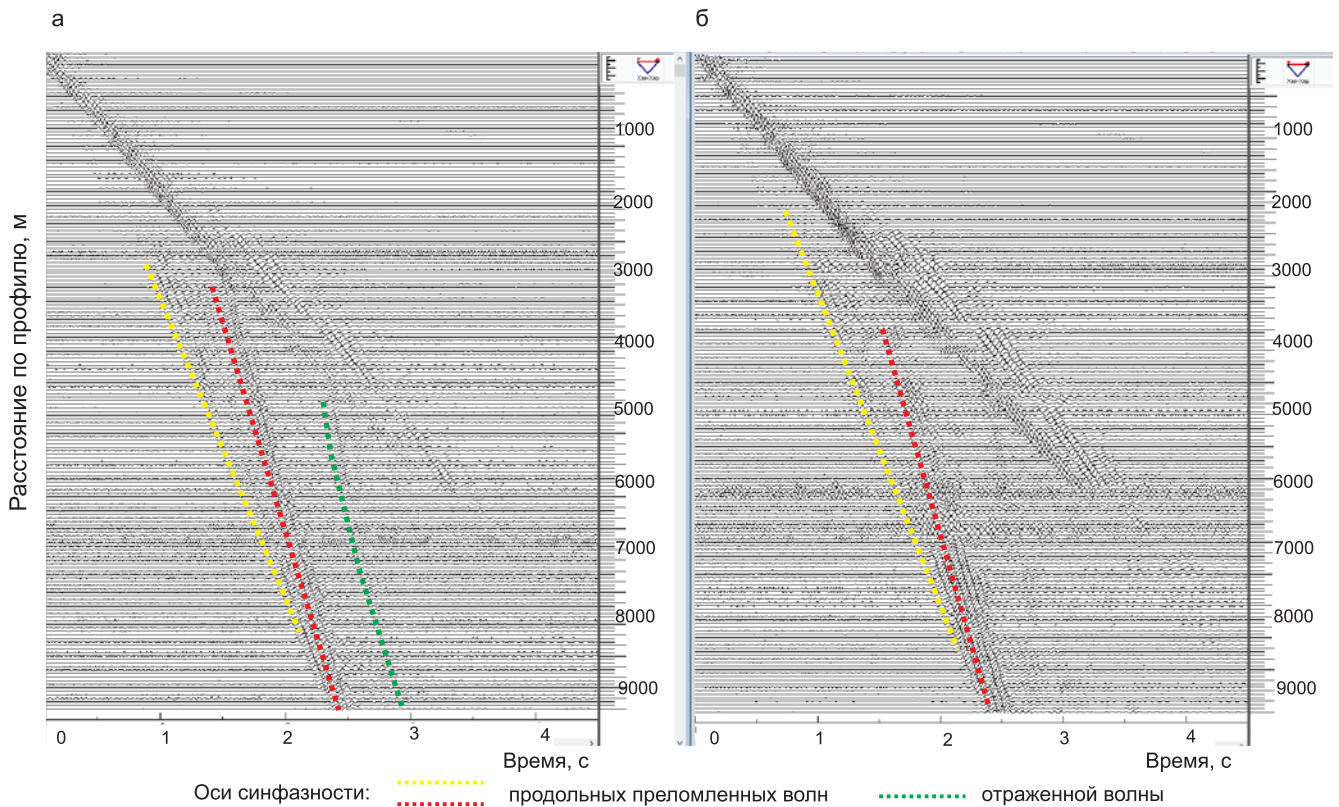


Рис. 6. Пример динамического пересчета волнового поля, зарегистрированного в зоне сочленения Алданской антеклизы и Предверхоанского краевого прогиба, интервал профиля 1560–1570 км: а – исходная сейсмограмма ОПВ; б – результат динамического пересчета исходной сейсмограммы

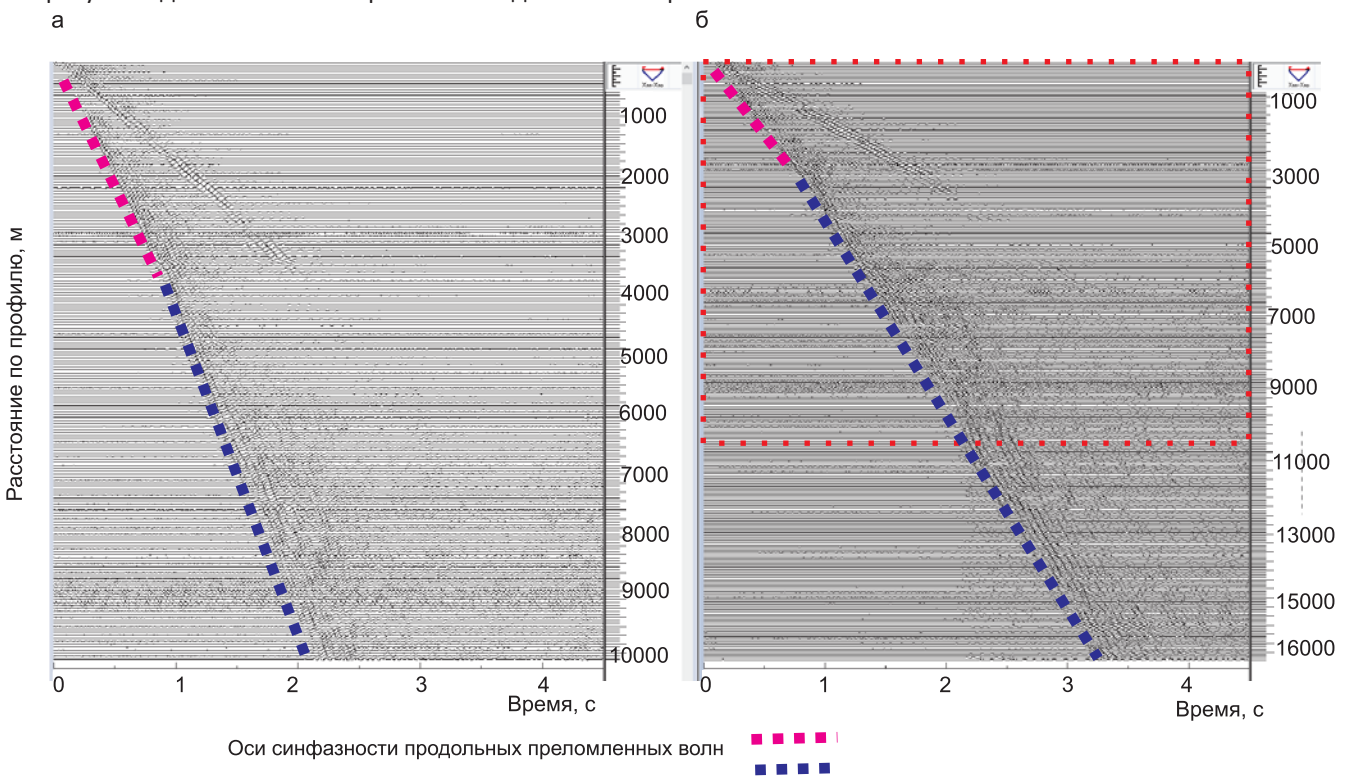


Рис. 7. Пример динамического пересчета волнового поля, зарегистрированного в пределах Верхояно-Колымской складчатой области, интервал профиля 1920–1940 км: а – исходная сейсмограмма ОПВ; б – результат динамического пересчета исходной сейсмограммы. Красной рамкой ограничена область, в которой содержатся все трассы исходной сейсмограммы

вступлений (4,2–5,2 км/с). Поэтому волна, регистрируемая в последующих вступлениях, соответствует более глубоко залегающей преломляющей

границе. Была оценена глубина залегания двух преломляющих границ: на исследуемом отрезке она меняется в диапазонах 0,8–1 км и 1,3–1,4 км соот-

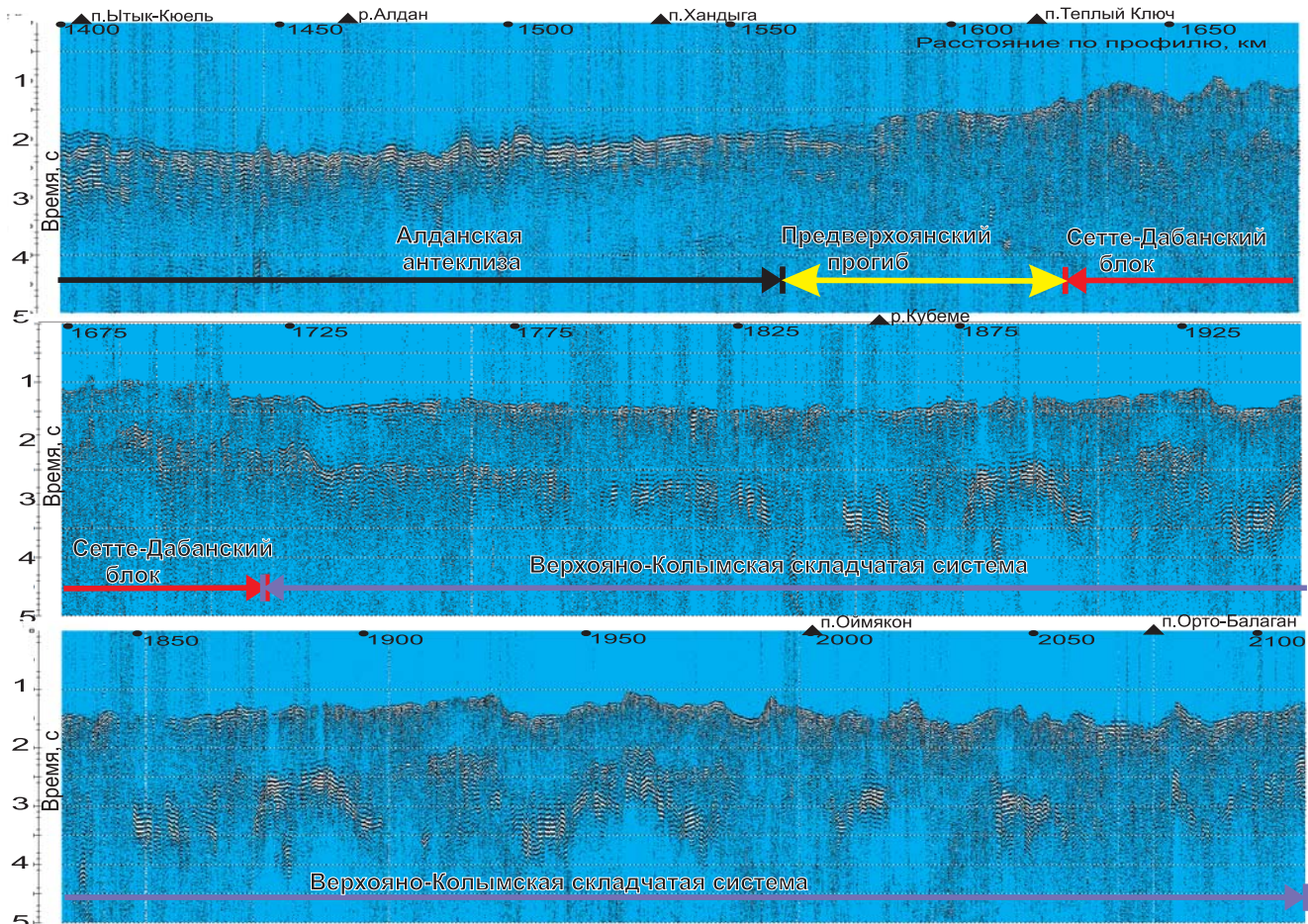


Рис. 8. Временной разрез на базе 7000 м по Северо-Западному участку профиля 3-ДВ. По оси абсцисс – расстояние по профилю (км), по оси ординат – время пробега преломленных волны (с).

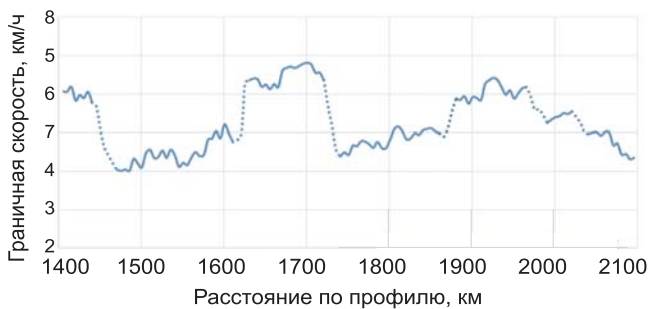


Рис. 9. Латеральное распределение граничных скоростей продольных преломленных волн, прослеживаемых в первых вступлениях на Северо-Западном участке профиля 3-ДВ. Пунктиром показано изменение скорости, вероятно обусловленное сменой волн в первых вступлениях

ответственно. Преломляющая граница, которой соответствует более высокоскоростная головная волна (красная линия на рис. 6), вероятно, представляет собой кровлю интрузивного тела, подстилающего нижнеюрские осадочные породы, слагающие преломляющую границу, с которой связана продольная головная волна первых вступлений (ось синфазности которой выделена желтым цветом).

В области Сетте-Дабанского тектонического блока (1620–1730 км) фиксируется продольная головная волна, соответствующая преломляющей границе, залегающей на глубине 0,7–0,8 км.

Ее ось синфазности выделена красным пунктиром на интервале 1620–1720 км временного разреза (см. рис. 10, а). Граничная скорость этой волны варьируется в диапазоне 6,2–6,6 км/с. Значения глубин до преломляющих границ, с которыми связаны волны первых вступлений в пределах Предверхоанского прогиба и Сетте-Дабанского блока, соизмеримы. Поэтому скачкообразное повышение граничной скорости от 5 до 6,2 км/с, наблюдаемое в зоне сочленения этих тектонических структур, может быть связано с разной геологической природой преломляющих границ, залегающих на соизмеримых глубинах. Граничная скорость волны первых вступлений на отрезке профиля в Сетте-Дабанском тектоническом блоке близка к скорости головной волны, прослеживаемой в последующих вступлениях на интервале профиля, секущем Предверхоанский краевой прогиб. Возможно, что преломленная волна, фиксируемая в последующих вступлениях на участке профиля, пересекающем восточную краевую зону Алданской антеклизы и Предверхоанский краевой прогиб, выходит в первые вступления в пределах Сетте-Дабанского тектонического блока (на временном разрезе на рис. 10, а возможный выход волны в первые вступления показан знаком вопроса).

Описанное в предыдущем абзаце изменение волновой картины первых вступлений может быть

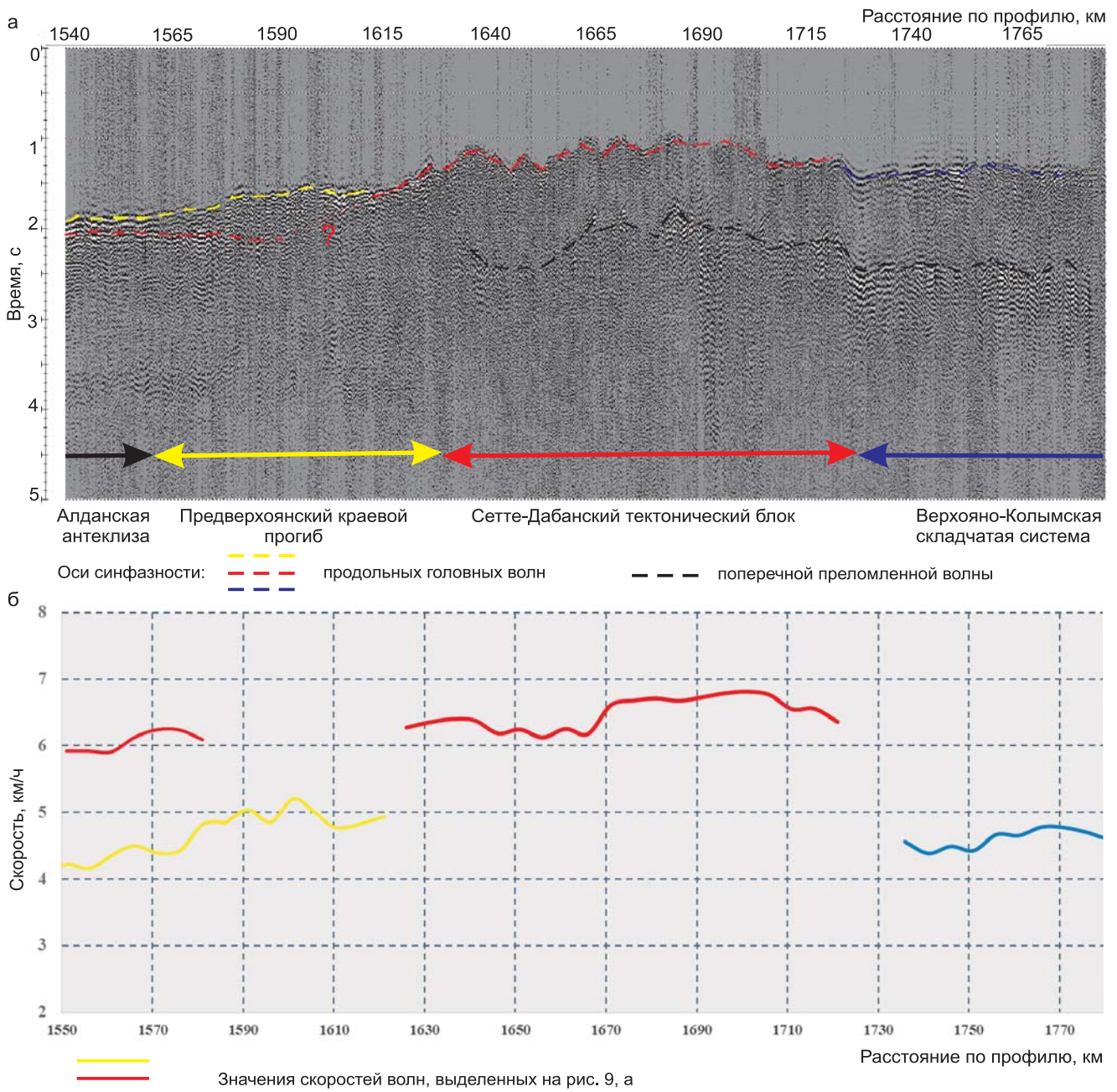


Рис. 10. Интервал профиля 1550–1780 км на базе 7000 м: временной разрез (а) и граничные скорости продольных головных волн (б)

объяснено тем, что интрузивное тело, расположенное глубже, чем толщина осадочных пород Алданской антеклизы и Предверхоаянского краевого прогиба, выходит ближе к дневной поверхности в пределах Сетте-Дабанского тектонического блока, прорывая осадочные породы. Кровля этого тела образует преломляющую границу, с которой связана волна первых вступлений.

Зона сочленения Сетте-Дабанского блока и Верхояно-Колымской складчатой системы (1720–1740 км) характеризуется резким понижением граничной скорости от 6,35 до 4,5 км/с.

На интервале профиля, секущем Верхояно-Колымскую складчатую систему (1730–2100 км), значения граничных скоростей продольных головных волн (синий цвет на рис. 10, а), просле-

живаемых в первых вступлениях, изменяются в диапазоне 4,4–5,6 км/с, а значения глубин до исследуемых преломляющих границ – в пределах 0,9–1,3 км. Участок профиля 1870–1980 км характеризуется повышенными значениями граничной скорости продольных преломленных волн (6–6,4 км/с).

На сейсмограммах, зарегистрированных на интервале профиля, пересекающем Сетте-Дабанский тектонический блок и Верхояно-Колымскую складчатую систему, помимо продольных головных волн, также прослеживаются поперечные. В интервале построенного временного разреза 1630–1800 км (см. рис. 10, а) уверенно прослеживаются оси синфазности как продольных, так и поперечных преломленных

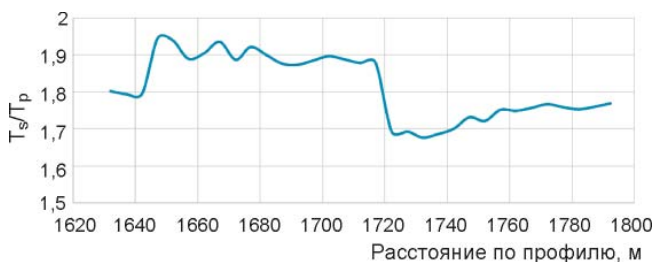


Рис. 11. Отношение времен пробега поперечных и продольных головных волн для Сетте-Дабанской области и западной части Верхояно-Колымской складчатой системы

волн от одной и той же преломляющей границы. Оси синфазности, выделенные красной (в пределах Сетте-Дабанского блока) и синей (в Верхояно-Колымской складчатой системе) линиями, – результат пересчета волнового поля продольных головных волн первых вступлений. Ось синфазности, выделенная черной линией, – результат динамического пересчета волнового поля поперечных головных волн. По временному разрезу на базе 7000 м было оценено латеральное распределение отношения времен их пробега (рис. 11).

Для отрезка профиля, расположенного в Сетте-Дабанской области и Верхояно-Колымской системе, отношение времен пробега поперечных и продольных головных волн (T_s/T_p) колеблется в интервале 1,67–1,95. В западной части Сетте-Дабанской зоны (1630–1645 км) фиксируется резкий скачок этого отношения – от 1,77 до 1,95, а в большей части Сетте-Дабанского тектонического блока (интервал 1645–1720 км на рис. 10) оно повышенное – 1,88–1,95. В зоне сочленения этого блока и Верхояно-Колымской области T_s/T_p скачкообразно понижается от 1,9 до 1,7. Горным породам, слагающим преломляющую границу в западной части Верхояно-Колымской складчатой системы, свойственно $T_s/T_p = 1,67–1,75$. Для преломляющей границы в зоне Сетте-Дабанского тектонического блока контраст скоростей продольных и поперечных волн более высокий, чем в зоне Верхояно-Колымской складчатой системы.

Скачкообразное изменение T_s/T_p подтверждает предположение о различной природе преломляющих границ Предверхоянского прогиба, Сетте-Дабанского блока и Верхояно-Колымской складчатой области: преломляющая граница в пределах Сетте-Дабанской области представляет собой кровлю интрузивного образования, прорвавшего осадочные вмещающие породы, в то время как преломляющие границы в пределах Алданской антеклизы сложены осадочными горными породами.

Выводы

Динамический пересчет позволил выделить волновые поля головных волн, соответствующих преломляющим границам в верхней части земной коры в зоне разнородных тектонических структур (Алданской антеклизы, Предверхоянского краево-

го прогиба, Сетте-Дабанского тектонического блока и Верхояно-Колымской складчатой области).

В зоне сочленения Алданской антеклизы и Предверхоянского краевого прогиба в первых и последующих вступлениях фиксируются две продольные преломленные волны с граничными скоростями в пределах 4,2–5,2 и 5,9–6,2 км/с соответственно. Глубины до преломляющих границ составляют 0,8–1 и 1,3–1,4 км.

Для интервала профиля, пересекающего Сетте-Дабанский блок и Верхояно-Колымскую складчатую систему, были выделены волновые поля не только продольных, но и поперечных головных волн. По временным разрезам изучено отношение времен их пробега. Западный край Сетте-Дабанской структуры характеризуется скачком T_s/T_p от 1,77 до 1,95, а восточный край – резким понижением от 1,9 до 1,7. Волновые поля, полученные в Верхояно-Колымской системе, характеризуются меньшими значениями T_s/T_p (1,67–1,75).

Повышенные значения граничной скорости головных волн первых вступлений, а также значений T_s/T_p в пределах Сетте-Дабанского блока позволяют предположить, что преломляющая граница в этой зоне представляет собой кровлю интрузивного тела, прорвавшего вмещающие осадочные породы.

Исследование выполнено при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и Фонда поддержки научно-проектной деятельности студентов, аспирантов и молодых ученых «Национальное интеллектуальное развитие» в рамках научного проекта № 17-35-80026 «мол_эв_а».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1. Автоматизированная** обработка головных волн для систем наблюдений с многократными перекрытиями / А. Ф. Еманов, В. С. Селезнев, В. М. Соловьев и др. // Методы изучения, строение и мониторинг литосферы. Материалы к международным конференциям. – Новосибирск, 1998. – С. 197–204.
- 2. Временные** разрезы головных волн верхней части земной коры на опорном профиле 3-ДВ (Северо-Восточный участок) / П. О. Полянский, А. С. Сальников, А. Ф. Еманов, В. В. Жабин // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2016. – № 2(26). – С. 86–95.
- 3. 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., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. Н. Н. Пузырева. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 282–288.
- 4. Еманов А. Ф.** Восстановление когерентных составляющих волновых полей в сейсмике: автореф. дис. ... д.т. н. – Новосибирск, 2004. – 35 с.
- 5. Еманов А. Ф., Селезнев В. С., Коршик Н. А.** Динамический пересчет головных волн при обра-



ботке данных сейсморазведки // Геология и геофизика. – 2008. – Т. 49, № 10. – С. 1031–1045.

6. Коршик Н. А., Еманов А. Ф., Селезнев В. С. Построение временных разрезов головных волн по материалам сверхглубинных ОГТ на опорных профилях // Проблемы сейсмологии III тысячелетия: матер. междунар. геофиз. конф. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – С. 350–354.

7. Крылов С. В., Сергеев В. Н. Свойства головных волн и новые возможности автоматизации их обработки // Геология и геофизика. – 1985. – № 4. – С. 92–102.

8. Модель формирования орогенных поясов Центральной и Северо-Восточной Азии / Л. М. Парфенов, Н. А. Берзин, А. И. Ханчук и др. // Тихоокеанская геология. – 2003. – Т. 22, № 6. – С. 7–41.

9. Полянский П. О., Сальников А. С., Еманов А. Ф. Применение алгоритма динамического пересчета головных волн к обработке данных ОГТ (Северо-Западный участок опорного профиля 3-ДВ) // Геофизические методы исследования земной коры: матер. Всерос. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения акад. Н. Н. Пузырева. – Новосибирск: ИНГГ СО РАН, 2014. – С. 238–243.

10. Полянский П. О., Сальников А. С., Еманов А. Ф. Применение метода динамического пересчета головных волн на Центральном участке профиля 3-ДВ (республика Якутия) для изучения преломляющих границ верхней части земной коры. Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2016. – Т. 2, № 1. – С. 210–215.

11. Селезнев В. С., Еманов А. Ф. Пересчет волновых полей головных волн фильтрами Винера // Геология и геофизика. – 1998. – № 4. – С. 536–546.

REFERENCES

1. Emanov A.F., Seleznev V.S., Solovyev V.M., et al. [Automated processing of head waves for observation systems with multifold coverage]. *Metody izucheniya, stroenie i monitoring litosfery. Materialy k mezhdunarodnym konferentsiyam, Novosibirsk 6-13 sentyabrya 1998* [Methods of study, structure, and monitoring of lithosphere. Proceedings of international conferences, Novosibirsk, 6–13 September 1998], pp. 197–204. (In Russ.).

2. Polyanskiy P.O., Salnikov A.S., Emanov A.F., Zhabin V.V. [Head wave time sections of the upper Earth's crust along the survey base line 3-DV (Northeastern Block)]. *Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Sibiri – Geology and Mineral Resources of Siberia*, 2016, no. 2(26), pp. 86–95. (In Russ.).

3. Erinchek Yu.M., Lipilin A.V., Serzhantov R.B., Kashubin S.N., Milshteyn E.D. [National network of base geological and geophysical survey lines, parametric and super-deep wells]. *Geofizicheskie metody*

issledovaniya zemnoy kory. Materialy vserossiyskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N.N. Puzyreva (8-13 dekabrya 2014 g.) [Proceedings of the All-Russia Conference dedicated to the 100th anniversary of N.N. Puzyrev (8–13 December 2014)]. Novosibirsk, IPGG SB RAS Publ., 2014, pp. 282–288. (In Russ.).

4. Emanov A.F. *Vosstanovlenie kogerentnykh sostavlyayushchikh volnovykh poley v seysmike* [Reconstruction of coherent wave field components in seismics]. Author's abstract of PhD thesis, Novosibirsk, 2004. 279 p. (In Russ.).

5. Emanov A.F., Seleznev V.S., Korshik N.A. [Dynamic conversion of head waves in seismic-data processing]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 2008, vol. 49, no. 10, pp. 1031–1045. (In Russ.).

6. Korshik N.A., Emanov A.F., Seleznev V.S. [Head wave time section imaging from super-deep CDP data at reference profiles]. *Problemy seysmologii III-go tysyacheletiya: Materialy mezhdunarodnoy geofiz. konf., g. Novosibirsk, 15-19 sent. 2003g.* [Issues of seismology in the 3rd millennium: Proceedings of international geological conference, Novosibirsk, 15–19 September 2003]. Novosibirsk, SB RAS Publ., 2003, pp. 350–354. (In Russ.).

7. Krylov S.V., Sergeev V.N. [Features of head waves and new opportunities of their automated processing]. *Geologiya i geofizika – Russian Geology and Geophysics*, 1985, no. 4, pp. 92–102. (In Russ.).

8. Parfenov L.M., Berzin N.A., Khanchuk A.I., et al. [A model for the formation of orogenic belts in Central and Northeast Asia]. *Tikhookeanskaya geologiya – Russian Journal of Pacific Geology*, 2003, vol. 22, no. 6, pp. 7–41. (In Russ.).

9. Polyanskiy P.O., Sal'nikov A.S., Emanov A.F. [Application of the algorithm of head wave dynamic conversion to CDP data processing (the northwestern portion of the survey base line 3-DV)]. *Geofizicheskie metody issledovaniya zemnoy kory. Materialy vserossiyskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya akademika N.N. Puzyreva (8-13 dekabrya 2014 g.)* [Geophysical methods to study the Earth's crust. Proceedings of the All-Russia Conference dedicated to the 100th anniversary of N.N. Puzyrev (8–13 December 2014)]. Novosibirsk, IPGG SB RAS Publ., 2014, pp. 238–243 (In Russ.).

10. Polyanskiy P.O., Salnikov A.S., Emanov A.F. [Application of the head wave conversion at the central portion of the survey base line 3-DV (Yakutia) to study refracting boundaries in the upper Earth's crust]. *Interksp Geo-Sibir*, 2016, vol. 2, no. 1. pp. 210–215. (In Russ.).

11. Seleznev V.S., Emanov A.F. [Wiener filter-based conversion of head wave fields]. *Geologiya i geofizika – Geology and Geophysics*, 1998, no. 4, pp. 536–546. (In Russ.).

© П. О. Полянский, А. С. Сальников,
А. Ф. Еманов, В. В. Жабин, 2017