



## ФИЛЬТРАЦИЯ ПО КОГЕРЕНТНОСТИ ЗАПИСЕЙ МОВ-ОГТ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ P- и S-ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН В ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ ЗЕМНОЙ КОРЫ

Павел Олегович Полянский<sup>1</sup>, Александр Федорович Еманов<sup>2</sup>, ✉, Александр Сергеевич Сальников<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Алтае-Саянский филиал ФИЦ «Единая геофизическая служба РАН»,

630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,

<sup>3</sup>Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,

630090, Новосибирск, просп. Акад. Коптюга, 3, Россия,

<sup>1</sup>polyansky@gs.nsc.ru, <https://orcid.org/0009-0005-1895-0252>

<sup>2</sup>emanov@gs.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0585-9012>

<sup>3</sup>SalnikovAS@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6938-9279>

**Аннотация.** Представлены результаты обработки детальных данных МОВ-ОГТ методом динамического пересчета. Разработан алгоритм разделения когерентных волн первых и последующих вступлений, основанный на F–K фильтрации сейсмограмм. Определено, что спектры преломленных P- и S-волн – колоколообразные, с выраженной преобладающей частотой (меняющейся в диапазонах 15–27 и 12–17 Гц), спектры исходных записей – низкодобротные, без доминирующей частоты. В створе профиля 1-СБ получена информация о динамике преломленных волн, формирующихся в верхней части коры складчатых систем: по резко меняющимся частотным спектрам, амплитуде и коэффициенту затухания выделены блоки протяженностью от 5 до 60–300 км, разделяемые зонами с пониженной амплитудой когерентных волн и размерами до 10 км.

**Ключевые слова:** когерентность по пространству, преломленные волны, метод динамического пересчета, опорный профиль 1-СБ, верхняя часть земной коры, динамика волнового поля

**Благодарности:** авторы статьи выражают глубокую признательность сотрудникам Всероссийского научно-исследовательского геологического института им. А.П. Карпинского д.г.-м.н., профессору С.Н. Кашубину и к.г.-м.н. Е.Д. Мильштейн, обеспечившим получение детальных сейсмических данных МОВ-ОГТ на опорном профиле 1-СБ и предоставившим их для выполнения исследований. Авторы искренне благодарны рецензенту статьи д.г.-м.н. Е.А. Мельник за ценные рекомендации, способствовавшие улучшению работы.

**Финансирование:** работа выполнена в рамках государственных заданий ФИЦ «ЕГС РАН» по проекту № 075-00609-26 с использованием данных, полученных на уникальной научной установке «Сейсмоинфразвуковой комплекс мониторинга арктической криолитозоны и комплекс непрерывного сейсмического мониторинга Российской Федерации, сопредельных территорий и мира» и ИНГГ СО РАН по проекту FWZZ-2026-0050.

**Для цитирования:** Полянский П.О., Еманов А.Ф., Сальников А.С. Фильтрация по когерентности записей МОВ-ОГТ и динамические характеристики P- и S-преломленных волн в верхней части земной коры // Геофизические технологии. 2026. № 1. С. 80–97. doi:10.18303/2619-1563-2026-1-80.

## COHERENCE FILTERING OF CMP RECORDS AND DYNAMIC CHARACTERISTICS OF P- AND S-REFRACTED WAVES IN THE UPPER PART OF THE EARTH'S CRUST

Pavel O. Polianskii<sup>1</sup>, Alexandr F. Emanov<sup>2</sup>, ✉, Alexandr S. Salnikov<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup>Altai-Sayan Branch of the Federal Research Center, Unified Geophysical Survey, RAS,  
Koptuyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,

<sup>3</sup>Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics, SB RAS, Koptuyug Ave., 3, Novosibirsk, 630090, Russia,

<sup>1</sup>polyansky@gs.nsc.ru, <https://orcid.org/0009-0005-1895-0252>

<sup>2</sup>emanov@gs.nsc.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0585-9012>

<sup>3</sup>SalnikovAS@ipgg.sbras.ru, <https://orcid.org/0009-0007-6938-9279>

**Abstract.** The article presents the results of processing detailed CDP-data using the dynamic conversion method. An algorithm for separating coherent refracted waves of the first and subsequent arrivals has been developed, based on the  $F$ – $K$  filtering of seismograms. It was determined that the shape of the spectra of refracted  $P$ - and  $S$ -waves is bell-shaped, with a pronounced predominant frequency (varying in the ranges of 15–27 and 12–17 Hz), the spectra of the original recordings are low-quality, without obvious maxima. Information on the dynamics of refracted waves formed in the upper crust of folded systems was obtained in the 1-SB profile: blocks ranging from 5 to 60–300 km in length, separated by zones with a reduced amplitude of coherent waves and sizes up to 10 km, were identified based on sharply changing frequency spectra, amplitude, and attenuation coefficient.

**Keywords:** spatial coherence, refracted waves, dynamic conversion method, 1-SB reference profile, upper crust, wave field dynamics

**Funding:** the study was carried out within the framework of the state assignments of the FRC “Unified Geophysical Survey RAS” (project No. 075-00609-26) using data obtained at unique scientific facility “Seismic infrasound complex for monitoring the Arctic cryolithozone and complex for continuous seismic monitoring of the Russian Federation, adjacent territories and the world” and IPGG SB RAS (project No. FWZZ-2026-0050).

**For citation:** Polianskii P.O., Emanov A.F., Salnikov A.S. Coherence filtering of CMP records and dynamic characteristics of  $P$ - and  $S$ -refracted waves in the upper part of the Earth's crust // Russian Journal of Geophysical Technologies. 2026. No. 1. P. 80–97. (In Russ.). doi:10.18303/2619-1563-2026-1-80.

## ВВЕДЕНИЕ

Сейсмические исследования – самая дорогостоящая часть комплекса работ на государственной сети опорных профилей и параметрических скважин [Кашубин и др., 2016]. Построение сейсмических моделей земной коры актуально для металлогении [Диденко и др., 2013] и поиска месторождений углеводородов [Старосельцев и др., 2015]. Для решения этих задач, как правило, используется комплексирование методов отраженных и преломленных волн [Кашубин и др., 2011; Рудницкая и др., 2013; Гошко и др., 2014, 2015; Суворов и др., 2018, 2019]. При этом метод преломленных волн существенно отстает от метода отраженных волн в автоматизации обработки и интерпретации данных. Практика показывает [Сакулина и др., 2016; Соловьев и др., 2020], что алгоритмы ручной обработки преломленных волн на региональных профилях главным образом нацелены на определение кинематических параметров волн и не позволяют детально изучать изменение их динамики в верхней части земной коры (0–3 км), в то время как по отраженным волнам удается получить детальные динамические разрезы на всю мощность земной коры [Гошко и др., 2014, 2015].

Одна из первых попыток автоматизировать обработку преломленных волн, используя математический аппарат метода МОВ-ОГТ, привела к созданию способа общей глубинной площадки (ОГП) [Монастырев и др., 1981]. Главный недостаток этого способа, заключающийся в отсутствии физического обоснования процедуры суммирования сейсмических трасс с разными лучами головной волны [Кондратьев, 2002], ограничил область его применения горизонтально-слоистыми средами с постоянной граничной скоростью. В Сибирском отделении РАН основы цифровой автоматизированной

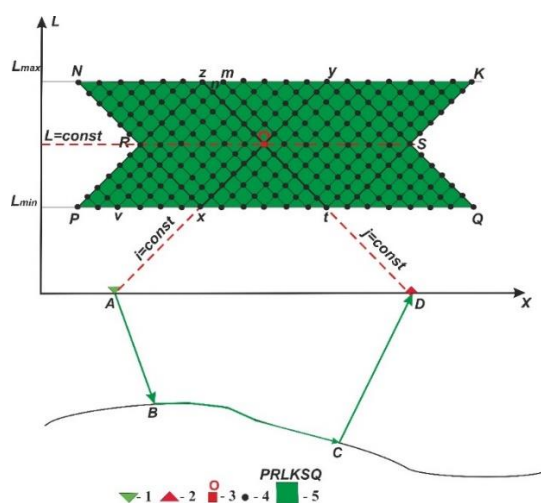
обработки преломленных волн заложены в цикле работ С.В. Крылова с коллегами [Крылов, Сергеев, 1985; Митрофанов, Сергеев, 1986; Сергеев, 1988]. К сожалению, найденные ими решения не подразумевали регуляризацию фильтров по величине отношения сигнал/помеха, поэтому их применение на протяженных профилях не вошло в широкую практику. Идеи С.В. Крылова получили дальнейшее развитие в работах [Селезнев, Еманов, 1998; Еманов и др., 2008], в которых были учтены вышеуказанные ограничения обоих подходов и разработан метод динамического пересчета преломленных волн (метод восстановления когерентных составляющих).

Этот метод неоднократно успешно применялся для извлечения из записей МОВ-ОГТ дополнительной информации о свойствах земной коры как складчатых областей до глубин 3 км [Полянский и др., 2018, 2023; Еманов и др., 2021], так и верхов осадочного чехла Горловского угольного бассейна [Полянский и др., 2025].

Цель исследований, результаты которых описаны в представленной статье, – повысить информативность сейсмических моделей верхней части земной коры на опорных профилях за счет получения детальных данных о динамических характеристиках преломляющих границ методом восстановления когерентных составляющих.

### МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ПЕРЕСЧЕТА ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН (метод восстановления когерентных составляющих)

В общем случае когерентность характеризует наличие линейной связи между колебаниями, не зависящей от времени или расположения точек наблюдения в пространстве [Бендат, Пирсол, 1983]. Преломленные волны когерентны по пространству. Это означает, что их нагоняющие голографы параллельны (подобны) вне зависимости от рельефа преломляющей границы [Еманов и др., 2008]. При автоматизированной обработке [Полянский и др., 2019] вычисляются спектральные характеристики фильтров Винера с регуляризацией по величине сигнал/помеха, обеспечивающие подавление некогерентных волн (отраженные, поверхностные и т. д.) и случайных помех. Последовательно выполняется пересчет сейсмических трасс, входящих в область прослеживания (5) головной волны, в точку (3) (рис. 1).



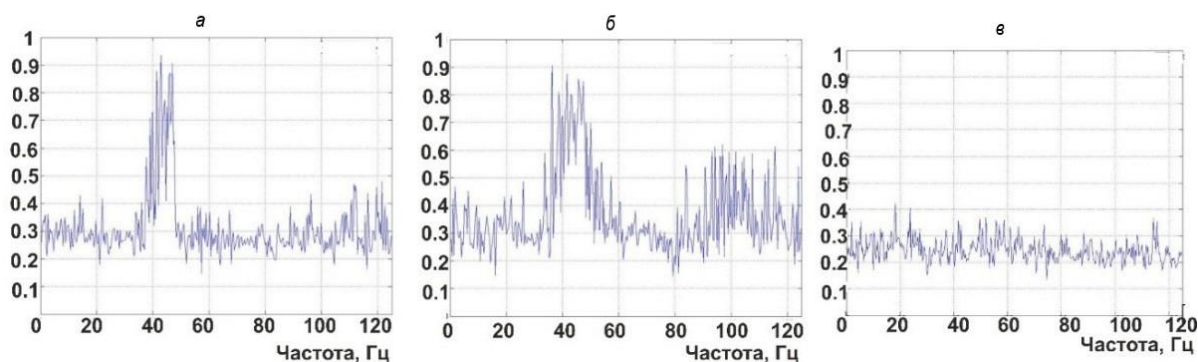
**Рис. 1.** Лучевая схема преломленной волны и фрагмент обобщенной плоскости с областью полезной информации для пересчета волнового поля. Усл. обозн.: 1 – источники; 2 – сейсмоприемники; 3 – сейсмотрасса, в которую выполняется пересчет волнового поля; 4 – сейсмотрассы, используемые для вычисления частотных характеристик фильтров пересчета; 5 – область сейсмотрасс, в которых содержится информация о свойствах среды вдоль луча ABCD.

В результате в точке (3) по кусочкам собирается волновое поле, собранное из записей, содержащих информацию о линейных преобразованиях в среде вдоль луча преломленной волны  $ABCD$  (например, запись в точке  $x$  содержит информацию о среде вдоль всего луча  $AB$  и части луча  $BC$ , а запись в точке  $t$  – информацию о среде вдоль части луча  $BC$  и всего луча  $CD$ ). Перемещая точку (3) вдоль линий  $L$  (расстояние источник–приемник) =  $const$ ,  $i$  (номер источника) =  $const$  или  $j$  (номер сейсмоприемника) =  $const$  и выполняя пошагово пересчет, формируются результирующие сейсмограммы ОПВ (рис. 4, в), ОПП или временные разрезы (рис. 5).

Существенным преимуществом метода восстановления когерентных составляющих над созданным ранее подходом к динамической цифровой обработке преломленных волн с использованием динамического соотношения [Крылов, Сергеев, 1985] является наличие алгоритма регуляризации фильтров пересчета по усредненной величине сигнал/помеха. Это обеспечивает закиривание фильтра на частотах с низким соотношением сигнал/шум и практически неискаженный пересчет на частотах с высоким соотношением сигнал/шум. Точность пересчета преломленных волн оценивается с использованием спектров когерентности. Спектр когерентности можно рассчитать через осредненные по множеству реализаций квадраты отношения спектров сигнал/помеха на входе ( $\alpha_1(\varpi)$ ) и выходе фильтра ( $\alpha_2(\varpi)$ ):

$$\beta^2(\varpi) = \frac{1}{(1 + \alpha_1(\varpi))(1 + \alpha_2(\varpi))}. \quad (1)$$

Значения спектра когерентности на любой частоте изменяются в пределах от 0 до 1. При этом чем ближе значение  $\beta(\varpi)$  к 1, тем большая доля энергии волнового поля в том или ином частотном диапазоне принадлежит преломленным волнам. На рисунке 2 даны примеры спектров когерентности.



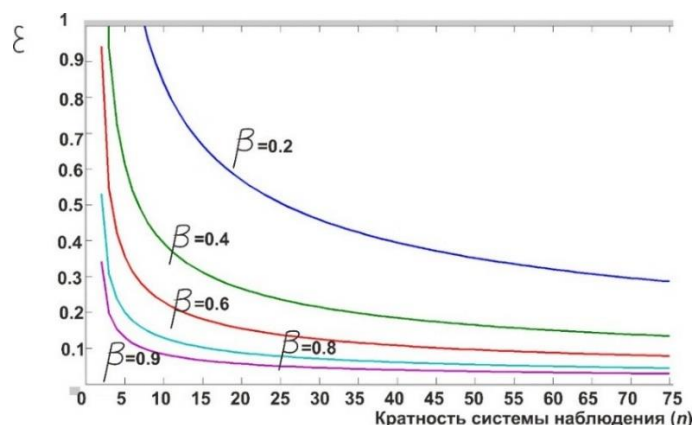
**Рис. 2.** Примеры рассчитанных спектров когерентности: а, б – спектры когерентности трасс с сигналами выделенной головной волны; в – спектр когерентности трасс с низкой когерентностью.

На спектрах когерентности фиксируются значения 0.7–0.9 (см. рис. 2, а, б). Это указывает на то, что в результате цифровой обработки выделены когерентные сигналы в полосе частот 30–50 Гц. Низкие значения спектра когерентности (рис. 2, в) могут быть обусловлены сильными амплитудами волн с непараллельными нагоняющими годографами, браком записей или неправильно заданными областями прослеживания преломленных волн при обработке.

В работе [Еманов и др., 2008] наглядно показано, что погрешность вычисления амплитудной и фазовой характеристик фильтра пересчета  $\varepsilon(\varpi)$  зависит от значений спектра когерентности  $\beta(\varpi)$  и кратности системы наблюдений ( $n$ ).

$$\varepsilon(\varpi) = \frac{[1 - \beta^2(\varpi)]^{1/2}}{\beta(\varpi)\sqrt{2(2n-3)}} \quad (2)$$

Графики зависимости величины погрешности от этих параметров продемонстрированы на рис. 3.

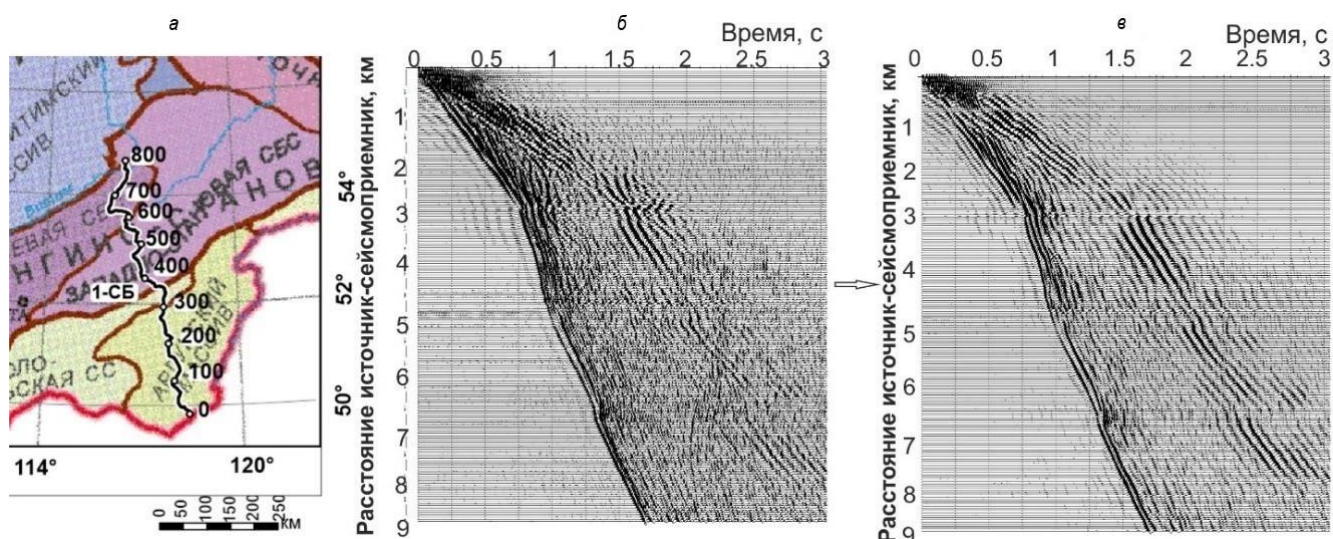


**Рис. 3.** Графики зависимости относительной погрешности вычисления АЧХ фильтра пересчета от кратности системы наблюдения при разных значениях спектров когерентности.

Из приведенных графиков следует, что чем выше значение спектра когерентности, тем при меньшей кратности системы наблюдений достигается требуемая точность. При высоких значениях спектра когерентности (например,  $\beta = 0.9$ ) даже при малой кратности ( $n \sim 10-15$ ) можно достичь точности пересчета  $\varepsilon < 0.1$ , а при значениях спектров когерентности  $\beta \leq 0.4$ , такая точность достигается только при очень высокой кратности наблюдений (свыше 200).

### ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА ПРЕЛОМЛЕННЫХ ВОЛН ПО МАТЕРИАЛАМ МОВ-ОГТ (опорный профиль 1-СБ)

Забайкальский участок профиля 1-СБ пересекает в северо-северо-западном направлении ряд крупных складчатых структур, черной линией на схему нанесена линия наблюдений МОВ-ОГТ длиной ~800 км (рис. 4, а).



**Рис. 4.** Расположение профиля 1-СБ на структурно-тектонической схеме (а); зарегистрированная коррелограмма ОПВ (б); в – сейсмограмма ОПВ-результат динамического пересчета.

Для излучения упругих волн на профиле 1-СБ использовались группы четырех вибрационных источников типа СВ-30/150 «Русич». Частотный диапазон излучаемого свип-сигнала составлял 10–60 Гц. Для регистрации вертикальной компоненты волнового поля использовались геофоны GS-20DX, расставленные в обе стороны от источника с шагом 50 м. Шаг дискретизации записей – 2 мс. На зарегистрированной коррелограмме (рис. 4, б) и на сейсмограмме ОПВ – результате динамического пересчета (рис. 4, в) в последующих вступлениях прослеживаются «прямая» и сменяющая ее на удалении ~3 км преломленная поперечные волны (вероятно, это SV-волны). Максимальное удаление источник–сейсмоприемник в зависимости от кривизны профиля варьировалось от 8 до 10 км. Такие длины годографов ограничивают глубинность изучения разреза преломленными волнами величиной 2–3 км.

Интерпретация временных разрезов существенно усложняется, когда в результате когерентного суммирования при динамическом пересчете происходит усиление амплитуд поперечных волн в последующих вступлениях, на фоне чего корреляция осей синфазности продольных волн первых вступлений становится затруднительна (интервалы временного разреза 612–632 и 660–680 км (рис. 5)). Также нередко возникают обратные ситуации, при которых высокие амплитуды продольных волн не позволяют проследить поперечные волны в последующих вступлениях (отрезок временного разреза 632–652 км (см. рис.5)).

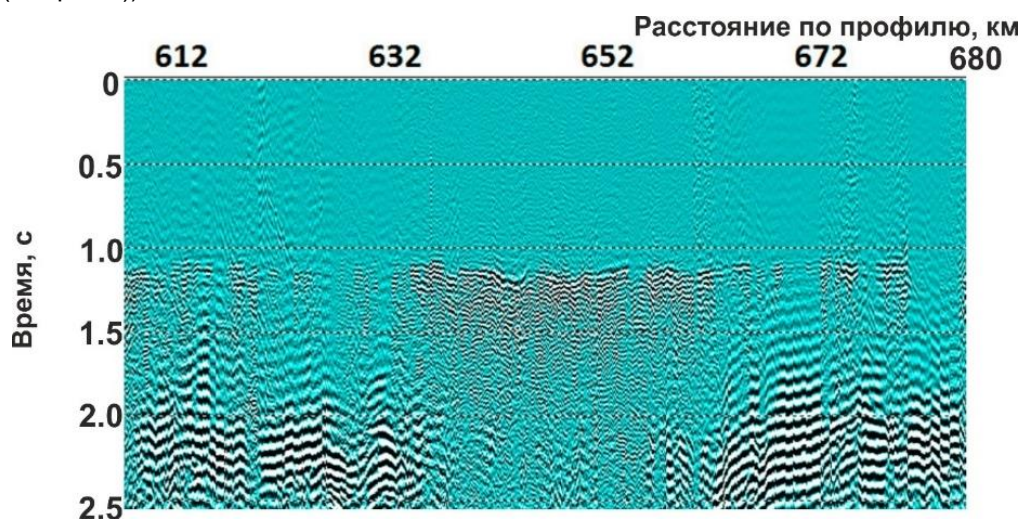


Рис. 5. Фрагмент результирующего временного разреза по профилю 1-СБ.

Для устранения этих затруднений разработан алгоритм:

1. Суммирование зарегистрированных сейсмограмм ОПВ в одну результирующую. При обработке материалов на профиле 1-СБ в каждую результирующую сейсмограмму суммируются записи 100 пунктов возбуждения.

2. К результирующим сейсмограммам применяется процедура двумерного преобразования Фурье (рис. 6, б) – переход из системы координат время–расстояние ( $t, x$ ) в систему частота–волновое число ( $f, k$ ), определяются диапазоны кажущихся скоростей  $V_{(P,S)}$ , которым соответствует область спектра с максимальной амплитудой.

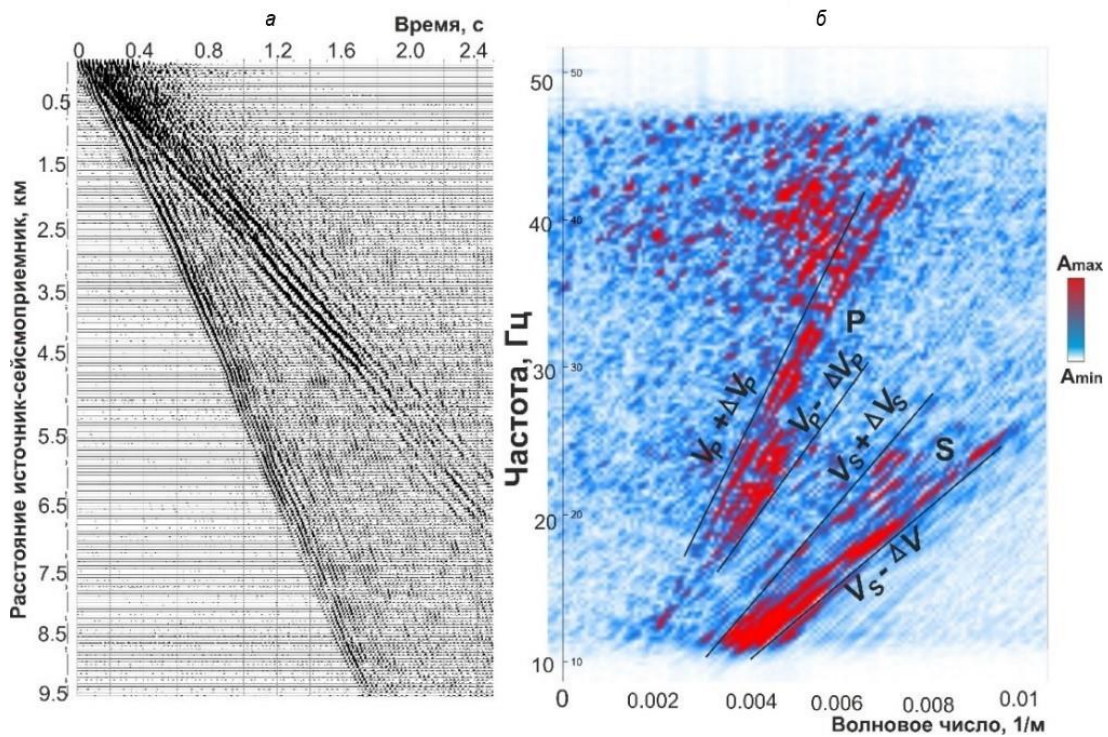
3. а) отсчеты каждой сеймотрассы всех зарегистрированных сейсмограмм ОПВ умножаются на значения сглаживающей функции, рассчитываемые следующим образом:

$$\begin{cases} A_{j,k} = \exp(-\alpha \cdot (\frac{X_j}{V_{(P,S)} + \Delta V_{(P,S)}} - t_k)), & t_k < \frac{X_j}{V_{(P,S)} + \Delta V_{(P,S)}} \\ A_{j,k} = 1, & \frac{X_j}{V_{(P,S)} + \Delta V_{(P,S)}} \leq t_k \leq \frac{X_j}{V_{(P,S)} - \Delta V_{(P,S)}} \\ A_{j,k} = \exp(-\alpha \cdot (t_k - \frac{X_j}{V_{(P,S)} - \Delta V_{(P,S)}})), & t_k > \frac{X_j}{V_{(P,S)} - \Delta V_{(P,S)}} \end{cases}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – положительный коэффициент,  $X_j$  – модуль расстояния источник–сейсмоприемник и  $t_k$  – время, определяемое как произведение номера отсчета  $k$  на величину шага дискретизации. Для учета влияний латерального изменения скорости волны и криволинейного профиля на результат преобразования вводится величина  $\Delta V_{(P,S)}$ ;

б) преобразование (3) выполняется отдельно для продольных и поперечных волн с учетом значений их кажущихся скоростей. На выходе получаются отдельные сейсмограммы с  $P$ - и  $S$ -волнами. По ним определяются области прослеживания продольных и поперечных волн вдоль профиля [Полянский и др., 2023].

4. Динамический пересчет трасс сейсмограмм, полученных на этапах 1–4, во временные разрезы и динамические годографы.



**Рис. 6.** Зарегистрированная коррелограмма (а) и ее двумерный амплитудный спектр в плоскости частота–волновое число (б);  $A_{\min}$ ,  $A_{\max}$  – минимальная и максимальная амплитуда.

Можно видеть на рис. 6, б, что основной энергии, излучаемой продольными волнами первых вступлений, соответствует область  $F$ – $K$  спектра с волновыми числами 0.002–0.008  $\text{м}^{-1}$  и частотами 20–45 Гц. Энергии, излучаемой поперечными волнами, соответствует область  $F$ – $K$  спектра с волновыми числами 0.004–0.01  $\text{м}^{-1}$  и частотами 10–25 Гц.

Временной разрез, сформированный из трасс зарегистрированных коррелограмм до их всякой обработки, показан на рис. 7.

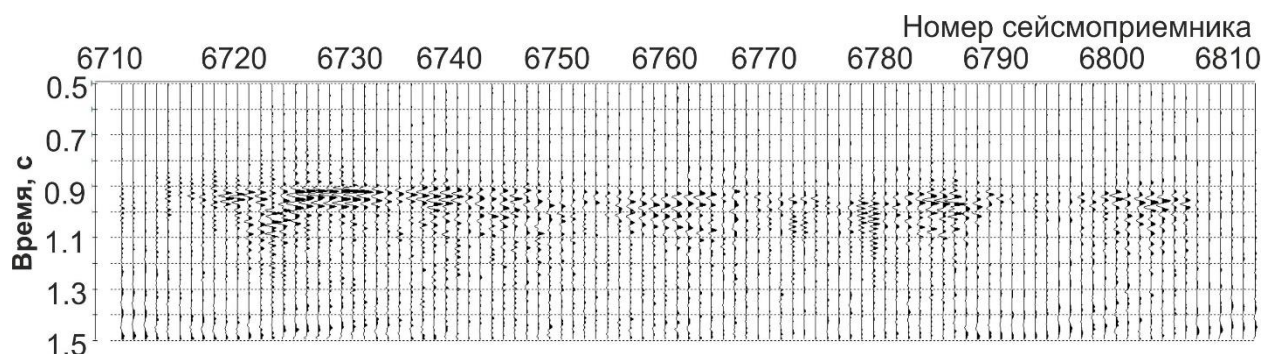


Рис. 7. Временной разрез  $L=const$ , составленный из трасс зарегистрированных коррелограмм.

Времена первых вступлений на большей части временного разреза (рис. 7) определить затруднительно. Например, на трассах с номерами 6710–6720, 6748–6755, 6788–6795, 6805–6810 и т. д. целевые сигналы продольных волн вообще не прослеживаются на фоне помех.

Частотный спектр сейсмической трассы, зарегистрированной сейсмоприемником с номером 6750 до обработки, дан на рис. 8, а синим цветом. Частотный спектр трассы с этим же номером, но полученный в результате обработки с использованием алгоритма разделения волн и последующего динамического пересчета, показан красной линией.

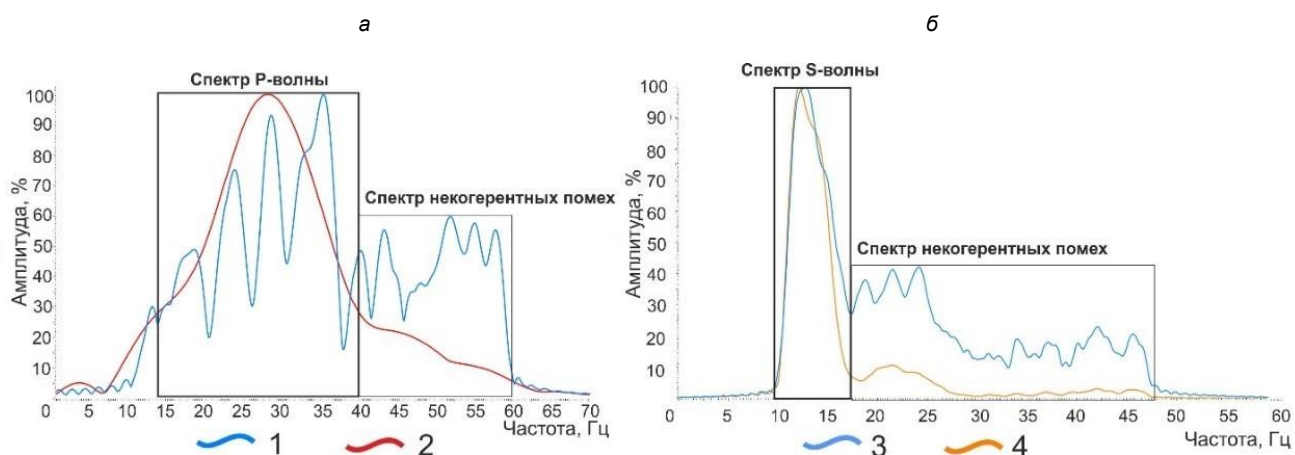
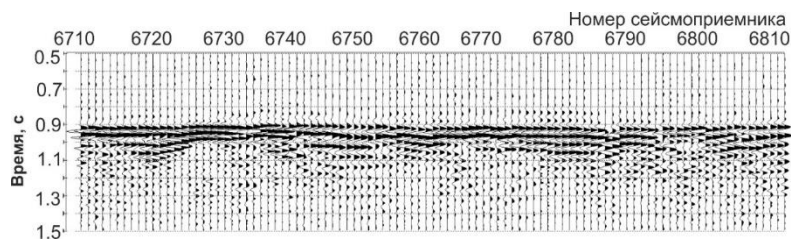


Рис. 8. Нормированные на максимум амплитудные спектры сейсмических трасс временных разрезов: а – спектр продольных волн до (1) и после (2) обработки динамическим пересчетом; б – спектр поперечных волн до (3) и после (4) обработки динамическим пересчетом.

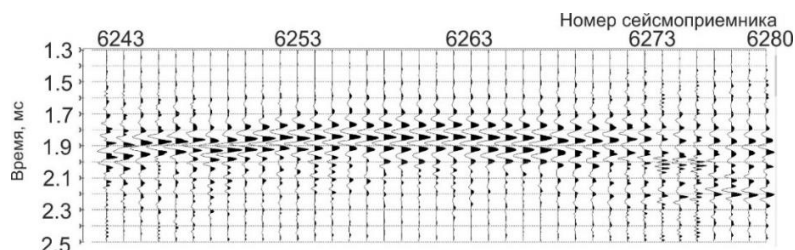
Спектр первичной трассы, зарегистрированной сейсмоприемником с номером 6750, – изрезанный, низкочастотный (показан синей линией на рис. 8, а). На нем прослежено несколько локальных максимумов – 17, 25, 30 и 35 Гц, но при этом затруднительно идентифицировать преобладающую частоту сигнала. Спектр результирующей трассы, полученной динамическим пересчетом (красная линия), колоколообразной формы и значительно более разрешенный. По нему установлено, что основная энергия продольной преломленной волны, зарегистрированной сейсмоприемником с номером 6750, излучается в диапазоне частот 15–40 Гц. Значение частоты наиболее интенсивных колебаний  $P$ -волны – 27 Гц. В результате динамического пересчета в 2–4 раза понижены амплитуды в области спектра 40–60 Гц, соответствующей некогерентным помехам. Отношение амплитуд в диапазонах частот 15–40 Гц (сигнал) и 40–60 Гц (помехи) на результирующем спектре (красная линия на рис. 8, а) превышает величину 5.

На трассах результирующего временного разреза по продольным волнам (см. рис. 8), сформированном из записей–результатов динамического пересчета, прослеживаются хорошо разрешенные сигналы, в том числе и на трассах с номерами 6710–6720, 6748–6755, 6788–6795, 6805–6810.

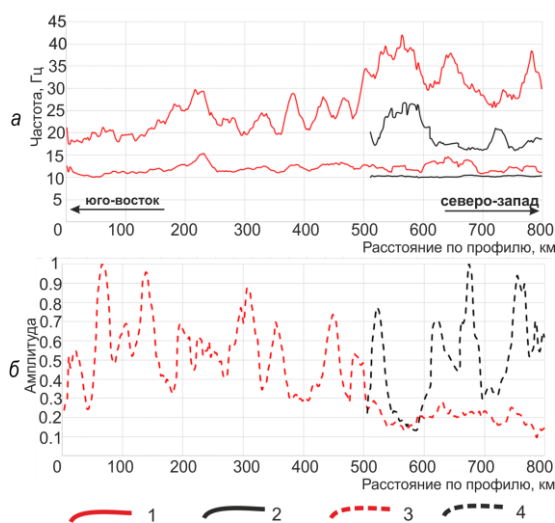


**Рис. 9.** Фильтрация по когерентности продольных преломленных волн на профиле 1-СБ. Результат пересчета во временной разрез.

Частотный спектр сейсмической трассы, зарегистрированной сейсмоприемником с номером 6253 до обработки, дан на рис. 8, б синей линией. Частотный спектр трассы с этим же номером, но полученной в результате обработки, показан оранжевой линией. Качество спектра S-волны выше, чем спектра P-волны до обработки на рис. 8, а. Сигнал поперечной преломленной волны характеризуется частотами 10–17 Гц, значение преобладающей частоты колебаний ~12.5 Гц. Случайные помехи и прочие некогерентные составляющие характеризуются частотным диапазоном 17–48 Гц. На спектре исходной записи отношение амплитуд S-волны/помеха составляет ~2.5, а для результирующей ~10. Фрагмент временного разреза  $L=const$ , сформированного из результирующих записей S-волн, представлен на рис. 10.



**Рис. 10.** Фильтрация по когерентности поперечных преломленных волн на профиле 1-СБ. Результат пересчета во временной разрез.



**Рис. 11.** Изменение динамики когерентных волн вдоль профиля 1-СБ. а – верхние и нижние граничные частоты амплитудных спектров сигналов P- (1) и S- (2) волн; б – амплитуда сигналов P- (3) и S- (4) волн.

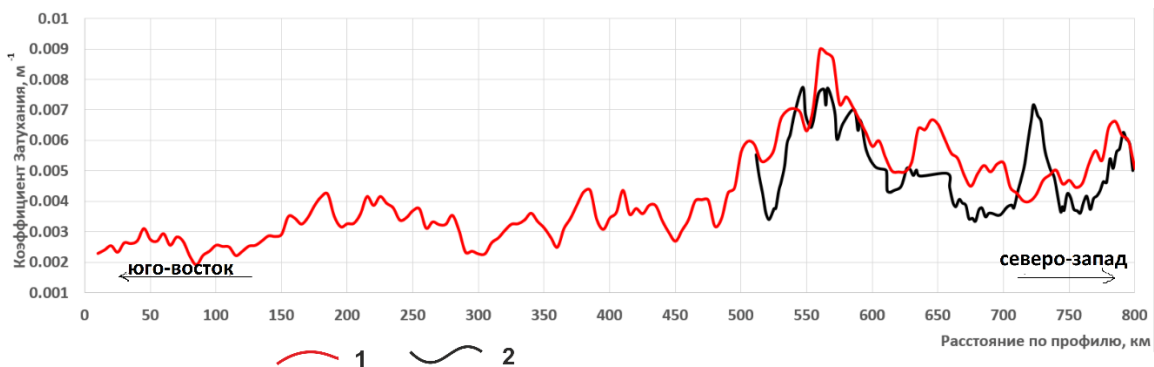
По результирующим временным разрезам вдоль профиля 1-СБ оценены величины частот (рис. 11, а) и амплитуд когерентных волн (рис. 11, б). Каждое значение амплитуды  $P$ - и  $S$ -волн, определенные по сейсмотрассам временных разрезов, нормировано на максимальные для всего профиля величины, фиксируемые на отметках  $\sim 80$  и  $\sim 670$  км.

Динамика волн сильно меняется вдоль профиля. Например, на юго-восточном отрезке 0–150 км спектр продольных преломленных волн ограничен частотами 10 и 20 Гц, ближе к центру профиля их спектр составляет  $12 - 25 \div 30$  Гц, а в северо-восточной части уже  $12 \div 15 - 35 \div 40$  Гц. По резкому изменению частот и амплитуд волн обоих типов прослеживаются блоки протяженностью от 5–10 до 100–300 км. Вся северо-восточная часть профиля (500–800 км), приуроченная к Западно-Становой складчатой системе, представляет собой цельный блок. Превышающие 30 Гц значения верхней частоты спектра  $P$ -волн и их пониженные амплитуды (в 3–4 раза по сравнению с остальными блоками в створе профиля) фиксируются только здесь. При этом сигналы  $S$ -волн в этой части более интенсивные, за исключением отрезков 550–600 и 700–730 км. Основная энергия преломленных  $S$ -волн на интервале профиля 500–800 км ограничена в диапазоне частот 17–27 Гц. Более высокую амплитуду низкочастотных преломленных  $S$ -волн по сравнению с продольными видно и на фрагменте результирующего временного разреза (см. рис. 5). Уменьшение амплитуды высокочастотных продольных волн, вероятно, обусловлено их рефракцией, влияющей на трассы–результаты динамического пересчета как фильтр низких частот [Полянский и др., 2018; Еманов и др., 2021]. При этом рефракция меньше влияет на низкочастотные сигналы  $S$ -волн.

*Характеристики затухания  $P$ - и  $S$ -преломленных волн в верхней части земной коры в створе профиля 1-СБ.* Параметрами, характеризующим затухание волн в среде, являются акустическая добротность ( $Q$ ) и коэффициент пространственного затухания волн  $\sigma_{(P,S)}$ :

$$Q = \frac{F_C}{F_{\max} - F_{\min}} = \frac{\pi \cdot F_C}{\sigma_{(P,S)} \cdot V_{(P,S)}} \Leftrightarrow \sigma_{(P,S)} = \frac{\pi \cdot F_C}{Q \cdot V_{(P,S)}}, \quad (4)$$

где  $F_C$  – значение преобладающей частоты колебаний,  $F_{\min}$  и  $F_{\max}$  – нижняя и верхняя частоты полосы пропускания сигнала на уровне  $1/\sqrt{2}$  от его максимальной амплитуды [Берзон, 1977; Вознесенский и др., 2015]. Рассчитанные вдоль профиля 1-СБ по записям временных разрезов значения коэффициентов пространственного затухания  $P$ - и  $S$ -преломленных волн приведены на рис. 12.



**Рис. 12.** Значения коэффициента затухания  $P$ - (1) и  $S$ - (2) преломленных волн в верхней части земной коры в створе профиля 1-СБ.

На построенных графиках вновь выделяется отрезок профиля 500–800 м. Его южная граница маркируется по резкому понижению амплитуды  $P$ -волн, более широкому их спектру (см. рис. 11) и

скачкообразному возрастанию коэффициента их затухания (от 0.002–0.004 до 0.006–0.009 м<sup>-1</sup>). Таким образом, в верхах коры пересекаемого профилем 1-СБ участка Западно-Становой складчатой системы установлена пониженная добротность среды, вероятно обусловленная повышенной рефракцией волн в раздробленных породах, следствием чего и является низкая амплитуда высокочастотных продольных волн.

Черной кривой на рис. 12 показано латеральное изменение затухания поперечных преломленных волн. Вычисленные вдоль профиля 1-СБ значения коэффициентов близки к величинам, экспериментально определенным по материалам многоволновой сейсморазведки [Тригубов, Локцик, 1989] и характерным для большинства осадочных и некоторых метаморфических пород. Для изверженных пород в «сейсморазведочном» диапазоне частот (10–50 Гц) характерно более низкое затухание ( $\sigma_{(P,S)} \leq 0.001$  м<sup>-1</sup>) [Берзон, 1977]. Зафиксирован ряд интервалов профиля, где сигналы *P*- или *S*-преломленных волн быстрее затухают в пространстве. Например, на интервалах 520–540 и 630–700 км коэффициент затухания продольных волн в 1.5–2 раза выше, чем поперечных, а на отрезке 710–740 км наоборот  $\sigma_{(S)}$  вдвое превышает  $\sigma_{(P)}$ .

Обобщая результаты, полученные на этом этапе исследования, можно заключить, что:

1. По-видимому, в верхней части земной коры в створе юго-восточного участка профиля, секущего Аргунский блок и Монголо-Забайкальскую складчатую область, преобладают плотные породы, характеризующиеся низким затуханием сейсмических волн.

2. В верхней части коры в створе северо-западного участка профиля 1-СБ (500–800 км) преобладают раздробленные и трещиноватые осадочные породы, для которых характерна рефракция и повышенное затухание волн.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Представленная статья продолжает цикл работ [Полянский и др., 2018, 2019, 2023; Еманов и др., 2021], посвященных построению детальных сейсмических моделей верхней части земной коры методом динамического пересчета [Еманов и др., 2008]. В случае использования на опорных профилях 1-СБ и 3-ДВ вибрационных источников, поперечные волны, как это ни странно, уверенно прослеживаются в последующих вступлениях сейсмограмм (см. рис. 4). Вероятно, регистрируется составляющая поперечной волны, поляризованная в вертикальной плоскости (*SV*), что позволяет извлекать дополнительную информацию о среде.

Особенность обработки методом динамического пересчета такова, что комплексный частотный спектр вычисляется для всей длины сейсмической записи. И если в первых и последующих вступлениях записи прослеживаются, например, продольная и поперечная преломленные волны, то в результате пересчета происходит увеличение амплитуд либо поперечных, либо продольных волн, что усложняет интерпретацию временных разрезов (см. рис. 5). Поэтому важным результатом исследования стал разработанный алгоритм разделения *P*- и *S*-преломленных волн, основанный на способе двумерной *F–K* фильтрации записей МОВ-ОГТ. Его применение в комплексе с динамическим пересчетом дало возможность за счет высокой кратности наблюдений (50–100) существенно усилить когерентные волны на фоне помех.

Основная энергия когерентных *P*-волн характеризуется спектром от 12 до 30–40 Гц, *S*-волн – от 10 до 17–20 Гц. Форма спектров выделенных когерентных волн – колоколообразная, с явно выраженной

преобладающей частотой, в то время как спектры зарегистрированных на профиле записей зачастую размазанные, низкочастотные, без доминирующей частоты (см. рис. 7, а). Важно понимать, что исследуемая среда работает как фильтр низких частот, в том числе за счет рефракции преломленных волн в нижележащие толщи и геометрического расхождения лучей на неоднородностях [Сергеев, 1988; Полянский и др., 2018]. Вследствие этого в первую очередь затухают более высокочастотные продольные волны, как, например, на отрезке профиля 500–800 км (см. рис. 10, б).

Использованный в работе способ расчета затухания волн в верхней части земной коры (см. рис. 11) по величине отношения центральной частоты спектра к его ширине – решение задачи в первом приближении. Вычисленные величины следует интерпретировать как характеристики затухания преломленных волн в локальных участках среды, в которых распространяются их лучи (см. рис. 1). Вычисленные значения коэффициентов верифицируются результатами сравнения с материалами многоволновой сейсморазведки [Тригубов, Локцик, 1989] и характерны для широкого спектра осадочных и некоторых метаморфических пород. Согласно экспериментальным данным [Берзон, 1977], для изверженных пород в диапазоне частот до 50 Гц характерны более низкие величины ( $\sigma_{(P,S)} \leq 0.001 \text{ м}^{-1}$ ).

Немаловажно, что алгоритмы обработки преломленных волн, используемые несколькими группами исследователей, позволили сделать близкие выводы о сейсмическом строении верхов коры вдоль профиля 1-СБ. Так, по результатам методов сейсмогравитационного моделирования и лучевого трассирования в работе [Суворов и др., 2018] выявлено неоднородное, блочное строение среды. При этом по гравитационным данным хорошо прослеживаются блоки протяженностью до 10–20 км, а по изменению скоростей преломленно-рефрагированных волн выделяются более масштабные структуры. В створе профиля 1-СБ наличие в земной коре блоков плотных пород, разделенных зонами раздробленности, подтверждено частотно-энергетическим анализом временных разрезов отраженных волн [Гошко и др., 2015]. Когерентная обработка преломленных волн позволила извлечь из временных разрезов информацию о динамике волнового поля и на основе этого также выделить блоки, разделенные разломами – зонами с низкой амплитудой когерентных волн и меняющимся их частотным составом. В трех статьях отмечается, что протяженность блоков, выделяемых по данным преломленных волн, может составлять от первых 5–10 км до сотен километров, а ширина разделяющих их разломных зон – до 10 км. Но, к сожалению, прямое сравнение результатов обработки результатов когерентной обработки записей МОВ-ОГТ и прямого лучевого трассирования записей КМПВ затруднительно из-за разных конфигураций линий наблюдения и отличающихся систем отсчета расстояний при обработке данных на криволинейном профиле 1-СБ.

Таким образом, по результатам сейсмических исследований фиксируется явное отсутствие в верхней части земной коры вдоль профиля 1-СБ классических границ, формирующих преломленные волны. Поэтому возникает актуальный вопрос – какова все-таки природа выделенных когерентных волн? Построенные временные разрезы с уверенно прослеживаемыми протяженными осями синфазности продольных и поперечных преломленных волн и их хорошо разрешенные амплитудные спектры не позволяют отрицать существование сейсмических разделов в верхах коры, формирующих эти волны. Если в осадках приповерхностной части Горловского бассейна когерентные волны распространяются вдоль границ пород разного возраста и состава [Полянский и др., 2025], то в складчатых системах сейсмические разделы зачастую располагаются несогласно с геологическими, секут складки [Еманов и др., 2021]. Такие границы фиксировались ранее по материалам ГСЗ [Крылов, 1967, 1970]. Поэтому для

более надежной интерпретации и уточнения информации о геологическом строении и о возможных месторождениях полезных ископаемых в верхней части земной коры, полученные материалы следует дополнить и сопоставить с результатами комплексных геолого-геофизических исследований и данными геологических исследований, выполненных, например, в районе Забайкальской параметрической скважины [Петров и др., 2023].

## ВЫВОДЫ

- Разработан алгоритм разделения когерентных волн первых и последующих вступлений, основанный на двумерной  $F-K$  фильтрации сейсмограмм. Применение алгоритма совместно с динамическим пересчетом записей МОВ-ОГТ на профиле 1-СБ позволило построить временные разрезы с хорошо разрешенными сигналами продольных и поперечных преломленных волн. Форма спектров когерентных  $P$ - и  $S$ -волн – колоколообразная, с ярко выраженной преобладающей частотой (меняющейся в диапазонах 15–27 и 12–17 Гц соответственно), в то время как спектры исходных записей «размазанные», низкочастотные. Динамический пересчет позволил в 2–4 раза повысить отношение амплитуд когерентный сигнал/помеха.

- Вдоль профиля 1-СБ установлено блочное строение верхней части земной коры. В юго-восточной части, секущей Аргунский блок и Монголо-Забайкальскую складчатую область (0–500 км), выделяются блоки горизонтальной протяженностью от 5–10 до 60 км, характеризующиеся повышенной ( $\geq 0.7$ ) амплитудой продольных волн. Разделяющие их области с пониженной (0.2–0.4) амплитудой и размерами от первых км до 10 км, следует интерпретировать как зоны разломов. Северо-западная часть профиля (500–800 км), секущая участок Западно-Становой складчатой системы, представляет собой протяженный блок с низкими ( $\leq 0.25$ ) амплитудами  $P$ -волн и их широкими спектрами с частотами от 12–15 до 30–40 Гц.

- Меняющиеся вдоль профиля 1-СБ величины коэффициентов пространственного затухания волн свидетельствуют, что в верхней части земной коры участка 0–500 км преобладают плотные породы с пониженным затуханием волн (0.002–0.004  $m^{-1}$ ). Верхняя часть коры в пределах участка профиля 500–800 км составлена раздробленными и трещиноватыми осадочными породами, для которых характерно сильное (0.006–0.009  $m^{-1}$ ) затухание волн.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Бендат Дж., Пирсол А.** Применения корреляционного и спектрального анализа. М.: Мир, 1983. 310 с.
- Берзон И.С.** Сейсмическая разведка вертикально-слоистых сред фундамента. М.: Недра, 1977. 320 с.
- Вознесенский А.С., Куткин Я.О., Красилов М.Н.** Взаимосвязь акустической добротности с прочностными свойствами известняков // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2015. № 1. С. 30–39. EDN:TKAZIH.
- Гошко Е.Ю., Ефимов А.С., Сальников А.С.** Современная структура и предполагаемая история формирования земной коры юго-востока Северо-Азиатского кратона вдоль опорного профиля 3-ДВ // Геодинамика и тектонофизика. 2014. Т. 5, № 3. С. 785–798. doi:10.5800/GT-2014-5-3-0155. EDN: SXCOFH.
- Гошко Е.Ю., Ефимов А.С., Сальников А.С.** Земная кора центрально-Азиатского складчатого пояса вдоль линии опорного геофизического профиля 1-СБ в свете частотно-энергетических атрибутов сейсмического

разреза // Геодинамическая эволюция литосферы Центрально-Азиатского подвижного пояса (от океана к континенту): Материалы научного совещания. Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2015. С. 60–63.

**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 Сковородино-Томмот // Геология и геофизика. 2013. Т. 54, № 10. С. 1583–1599. EDN:RFXDOR.

**Еманов А.Ф., Селезнев В.С., Коршик Н.А.** Динамический пересчет головных волн при обработке данных сейсморазведки // Геология и геофизика. 2008. Т. 49, № 10. С. 1031–1045. EDN:JWGIKJ.

**Еманов А.Ф., Полянский П.О., Сальников А.С.** Сейсмическая модель верхней части земной коры юго-восточной границы Сибирской платформы // Физика Земли. 2021. № 3. С. 130–146. doi: 10.31857/S0002333721030054. EDN:IYPWJS.

**Канарейкин Б.А., Сальников А.С., Напреев Д.В., Мосягин Е.В., Гошко Е.Ю.** Возможности сейсморазведки при изучении складчатой структуры антрацитов (Горловский бассейн) // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2023. № 2 (54). С. 33–41. doi:10.20403/2078-0575-2023-2-33-40. EDN:FJUAND.

**Кашубин С.Н., Сакулина Т.С., Павленкова Н.И., Лукашин Ю.П.** Особенности волновых полей продольных и поперечных волн при глубинных сейсмических исследованиях на акваториях // Технологии сейсморазведки. 2011. № 4. С. 88–102. EDN:OOPKTR.

**Кашубин С.Н., Мильштейн Е.Д., Винокуров И.Ю., Эринчек Ю.М., Сержантов Р.Б., Татаринцев В.Ю.** Государственная сеть опорных геолого-геофизических профилей, параметрических и сверхглубоких скважин – основа глубинного 3D картографирования территории Российской Федерации и ее континентального шельфа // Региональная геология и металлогения. 2016. № 67. С. 43–48. EDN:YJYCYB.

**Кондратьев О.К.** Проблемы совместной обработки и интерпретации отражённых и преломленных волн в региональной сейсморазведке // Геофизика. 2002. № 3. С. 31–49. EDN:SZESMR.

**Крылов С.В.** О природе сейсмических разделов земной коры // Региональные геофизические исследования в Сибири. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1967. С. 105–122.

**Крылов С.В.** О пологих сейсмических границах внутри фундамента // Геология и геофизика. 1970. Т. 11, № 4. С. 98–110. EDN:MIPPGV.

**Крылов С.В., Сергеев В.Н.** Свойства головных волн и новые возможности автоматизации их обработки // Геология и геофизика. 1985. Т. 26, № 4. С. 92–102. EDN:VAQVCC.

**Митрофанов Г.М., Сергеев В.Н.** Исследование линеаризованной модели для головной волны в связи с задачей обработки данных КМПВ // Геология и геофизика. 1986. Т. 27, № 8. С. 98–108. EDN:PNAZZE.

**Монастырев В.К., Ознобихин Ю.В., Голошубин Г.Н.** Способ сейсмической разведки / Авторское свидетельство СССР № 864215 от 15.09.1981.

**Петров О.В., Кашубин С.Н., Гладкочуб Д.П., Донская Т.В., Морозов А.Ф., Кудрявцев И.В., Мильштейн Е.Д., Горбачев В.И., Наркисова В.В.** Забайкальская параметрическая скважина: первые данные о глубинном строении Борщовочного комплекса метаморфического ядра // Доклады академии наук. Науки о Земле. 2023. Т. 513, № 2. С. 165–173. doi:10.31857/S2686739723601321. EDN:SESXTM.

**Полянский П.О., Еманов А.Ф., Сальников А.С., Жабин В.В.** Динамический пересчёт головных волн на центральном участке опорного профиля 3-ДВ: Особенности методики и интерпретация временных разрезов // Геофизические исследования. 2018. Т. 19, № 2. С. 5–33. doi:10.21455/gr2018.2-1. EDN:XSMAIH.

**Полянский П.О., Дураченко А.В., Еманов А.Ф.** Программный комплекс для цифровой обработки данных сейсморазведки с многократными перекрытиями методом динамического пересчета головных волн “Dunmond v1.0” / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2019617268 от 05.06.2019.

**Полянский П.О., Еманов А.Ф., Сальников А.С.** Построение скоростной модели верхней части земной коры зоны сочленения Евразийской и Охотоморской плит вдоль северо-восточного участка профиля 3-ДВ по результатам цифровой обработки данных продольных и поперечных преломленных волн // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2023. № 1 (53). С. 21–35. doi:10.20403/2078-0575-2023-1-21-35. EDN:BLDBNM.

**Полянский П.О., Еманов А.Ф., Сальников А.С.** Динамическая обработка преломленных волн по материалам ОГТ в Горловском угольном бассейне // Геофизические исследования. 2025. Т. 26, №1. С. 39–66. doi:10.21455/gr2025.1-3. EDN:BHEWON.

**Рудницкая Д.И., Старосельцев В.С., Сальников А.С.** Построение макромодели земной коры с применением РЕАПАК-технологии по геотраверсу 3-ДВ (Восточная Сибирь) // Геофизика. 2013. № 1. С. 19–26. EDN:RXGQJ.

**Сакулина Т.С., Кашубин С.Н., Павленкова Г.А.** Глубинные сейсмические зондирования по профилю 1-AP в Баренцевом море: методика и результаты // Физика Земли. 2016. № 4. С. 107–124. doi:10.7868/S0002333716040086. EDN:WALRKJ.

**Селезнев В.С., Еманов А.Ф.** Пересчет волновых полей головных волн фильтрами Винера // Геология и геофизика. 1998. Т. 39, № 4. С. 536–546. EDN:SNEVRL.

**Сергеев В.Н.** Учет геометрического расхождения и рефракции при пересчете поля колебаний преломленных волн // Геология и геофизика. 1988. Т. 29, № 3. С. 93–102. EDN:OKNGWF.

**Соловьев В.М., Сальников А.С., Селезнев В.С., Чечельницкий В.В., Лисейкин А.В., Галева Н.А.** Особенности глубинного скоростного строения забайкальского участка Центрально-Азиатского складчатого пояса по данным сейсмологии и ГСЗ (в створе опорного профиля 1-СБ) // Тихоокеанская геология. 2020. Т. 39, № 5. С. 56–68. doi:10.30911/0207-4028-2020-39-5-56-68. EDN:HVXDPA.

**Старосельцев В.С.** Геолого-геофизические предпосылки юго-восточного продолжения Сибирской платформы // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. 2015. № 4 (24). С. 3–10. EDN: VBJDFP.

**Суворов В.Д., Мельник Е.А., Павлов Е.В., Сальников А.С.** Региональное структурно-тектоническое районирование верхней коры Забайкалья по сейсмогравитационным данным вдоль опорного профиля 1-СБ // Геодинамика и тектонофизика. 2018. Т. 9, № 2. С. 439–459. doi:10.5800/GT-2018-9-2-0355. EDN:UVUNOT.

**Суворов В.Д., Павлов Е.В., Мельник Е.А.** Сейсмодинамическая структура верхней коры Забайкалья (профиль 1-СБ, южный участок) // Естественные и технические науки. 2019. № 12. С. 157–159. doi: 10.25633/ETN.2019.12.14. EDN:YJFMOI.

**Тригубов А.В., Локцик В.В.** Эффективное затухание продольных, поперечных и обменных волн в некоторых типичных геологических разрезах // Геология и геофизика. 1989. Т. 30, № 6. С. 133–143. EDN:AHHDIW.

## REFERENCES

- Bendat J., Pirsol A.** Engineering applications of correlation and spectral analysis. New York, John Wiley & Sons, 1980. 310 p.
- Berzon I.S.** Seismic exploration of vertically layered basement media (In Russ.). Nedra, Moscow, 1977. 320 p.
- Didenko A.N., Shevchenko B.F., Goroshko M.V., Gur'yanov V.A., Efimov A.S., Sal'nikov A.S., Starosel'tsev V.S., Nelyubov P.A., Zamozhnyaya N.G.** 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 // Russian Geology and Geophysics. 2013. Vol. 54 (10). P. 1236–1249. doi:10.1016/j.rgg.2013.09.008. EDN:RFRNKR.
- Emanov A.F., Polyanskii P.O., Sal'nikov A.S.** Upper crustal velocity model for the southeastern boundary of the Siberian Platform // Izvestiya, Physics of the Solid Earth. 2021. Vol. 57 (3). P. 409–424. doi:10.1134/s1069351321030058. EDN:TNYINO.
- Emanov A.F., Seleznev V.S., Korshik N.A.** Dynamic conversion of head waves in seismic data processing // Russian Geology and Geophysics. 2008. Vol. 49 (10). P. 780–789. doi:10.1016/j.rgg.2007.12.015. EDN:LLJZZD.
- Goshko E.Yu., Efimov A.S., Sal'nikov A.S.** The recent structure and the assumed history of formation of the crust in the south-eastern segment of the north Asian craton along reference profile 3-DV // Geodynamics & Tectonophysics. 2014. Vol. 5 (3). P. 785–798. (In Russ.).
- Goshko E.Yu., Efimov A.S., Salnikov A.S.** The Earth's crust of the Central Asian folded belt along the line of the reference geophysical profile 1-SB in light of the frequency-energy attributes of the seismic section // Geodynamic evolution of the lithosphere of the Central Asian mobile belt (from ocean to continent): Proceedings of the Meeting. Irkutsk, 2015. P. 60–63 (In Russ.).
- Kanareykin B.A., Salnikov A.S., Napreev D.V., Mosyagin E.V., Goshko E.Yu.** Possibilities of seismic exploration in studying the folded structure of anthracites (Gorlovsky basin) // Geology and Mineral Resources of Siberia. 2023. No. 2 (54). P. 33–41. (In Russ.).
- Kashubin S.N., Milshtein E.D., Vinokurov I.Yu., Erinchek Yu.M., Serzhantov R.B., Tatarinov V.Yu.** State network of geotranssects and superdeep wells – the basis for 3D deep mapping of the Russian Federation and its continental shelf // Regional Geology and Metallogeny. 2016. No. 67. P. 43–48. (In Russ.).
- Kashubin S.N., Sakulina T.S., Pavlenkova N.I., Lukashin Yu.P.** Characteristics of compressional and shear waves generated in marine deep seismic studies // Seismic Technologies. 2011. No. 4. P. 88–102. (In Russ.).
- Kondratyev O.K.** Problems of joint processing and interpretation of reflected and refracted waves in regional seismic exploration // Geofizika. 2002. No. 3. P. 31–49. (In Russ.).
- Krylov S.V.** On flat seismic boundaries within the basement // Geologiya i Geofizika. 1970. Vol. 11 (4). P. 98–110. (In Russ.).
- Krylov S.V.** On the nature of seismic sections in the Earth's crust // Regional Geophysical Research in Siberia. Nauka, Siberian Branch, Novosibirsk, 1967. P. 105–122. (In Russ.).
- Krylov S.V., Sergejev V.N.** Properties of the head waves and new possibilities for their processing automation // Geologiya i Geofizika. 1985. Vol. 26 (4). P. 92–102. (In Russ.).

- Mitrofanov G.M., Sergejev V.N.** Investigation of linearization model for the head waves in the connection of CMRW data processing // *Geologiya i Geofizika*. 1986. Vol. 27 (8). P. 98–108. (In Russ.).
- Monastyrev V.K., Oznobikhin Yu.V., Goloshubin G.N.** Seismic Exploration Method / USSR Author's Certificate No. 864215 dated September 15, 1981. (In Russ.).
- Petrov O.V., Kashubin S.N., Gladkochub D.P., Donskaya T.V., Morozov A.F., Kudryavtsev I.V., Milshtein E.D., Gorbachev V.I., Narkisova V.V.** The Trans-Baikal parametric borehole: first evidence of the deep structure of the Borshchovochnyi metamorphic core complex // *Doklady Earth Sciences*. 2023. Vol. 513 (2). P. 1271–1278. doi:10.1134/s1028334x23602110. EDN:MINEOP.
- Polianskii P.O., Emanov A.F., Salnikov A.S.** Dynamic processing of refracted waves according to CDP data in the Gorlovsky coal basin // *Geophysical Research*. 2025. Vol. 26 (1). P. 39–66. (In Russ.).
- Polyanskiy P.O., Emanov A.F., Salnikov A.S.** Construction of a velocity model of Earth's upper crust of the Eurasian–Sea of Okhotsk plate conjunction zone along the northeastern segment of the 3-DV profile based on the digital processing results of compressional- and shear-wave refractions // *Seismic Instruments*. 2025. Vol. 61 (5). P. 367–379. doi:10.3103/S0747923925700525. EDN:USTQWN.
- Polyansky P.O., Durachenko A.V., Emanov A.F.** Software package for digital processing of seismic exploration data with multiple overlaps using the method of dynamic recalculation of head waves “Dynmond v1.0” / Certificate of state registration of computer program No. 2019617268. Dated 05.06.2019. (In Russ.).
- Polyansky P.O., Emanov A.F., Salnikov A.S., Zhabin V.V.** Dynamic conversion of head waves on the central part of the 3-DV profile: technique features and interpretation of time sections // *Geophysical Research*. 2018. Vol. 19 (2). P. 5–33. (In Russ.).
- Roudnitskaya D.I., Staroseltsev V.S., Salnikov A.S.** The construction of the Earth's crust macromodel applying REAPAK-technology along the 3-DV geotraverse (East Siberia) // *Geofizika*. 2013. No. 1. P. 19–26. (In Russ.).
- Sakulina T.S., Kashubin S.N., Pavlenkova G.A.** Deep seismic soundings on the 1-AR profile in the Barents Sea: Methods and results // *Izvestiya, Physics of the Solid Earth*. 2016. No. 4. P. 572–589. doi:10.1134/S106935131604008X. EDN:WVELVP.
- Seleznev V.S., Emanov A.F.** Conversion of head-wave fields by the Wiener filters // *Russian Geology and Geophysics*. 1998. Vol. 39 (4). P. 536–546.
- Sergejev V.N.** Taking into account of geometric discrepancy and refraction when recalculating the field of refracted waves variation // *Geologiya i Geofizika*. 1988. Vol. 29 (3). P. 93–102. (In Russ.).
- Solovyev V.M., Salnikov A.S., Seleznev V.S., Chechelnitzsky V.V., Liseikin A.V., Galeva N.A.** The features of the deep velocity structure of the Trans-Baikal section of the Central Asian fold belt from the seismological and DSS data (alignment of the 1-SB reference profile) // *Russian Journal of Pacific Geology*. 2020. Vol. 14 (5). P. 434–446. doi:10.1134/S1819714020050073. EDN:BRKWJM.
- Staroseltsev V.S.** Geological-geophysical conditions for southeastern extension of the Siberian Platform // *Geology and Mineral Resources of Siberia*. 2015. Vol. 24 (4). P. 3–10. (In Russ.).
- Suvorov V.D., Melnik E.A., Pavlov E.V., Salnikov A.S.** Regional structural-tectonic zoning of the upper crust of Transbaikalia based on seismogravitational data along reference profile 1-SB // *Geodynamics & Tectonophysics*. 2018. Vol. 9 (2). P. 439–459. (In Russ.).
- Suvorov V.D., Pavlov E.V., Melnik E.A.** Seismic density structure of the Transbaikalia upper crust (1-SB profile, southern section) // *Natural and Technical Sciences*. 2019. No. 12. P. 157–159. (In Russ.).

**Trigubov A.V., Loktsik V.V.** Effective attenuation of longitudinal, transverse and exchange waves in some typical geological sections // Geologiya i Geofizika. 1989. Vol. 30 (6). P. 133–143. (In Russ.).

**Voznesensky A.S., Kutkin Y.O., Krasilov M.N.** Interrelation of the acoustic Q-factor and strength in limestone // Journal of Mining Science. 2015. Vol. 51 (1). P. 23–30. doi:10.1134/S1062739115010044. EDN:UZTOKV.

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

*ПОЛЯНСКИЙ Павел Олегович* – кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Алтае-Саянского филиала Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”. Основные научные интересы: алгоритмы цифровой обработки сейсмических данных, определение динамических характеристик волновых полей, изучение сейсмического строения земной коры продольными и поперечными преломленными волнами, резонансные колебания зданий и сооружений, методы инженерной сейсмологии.

*ЕМАНОВ Александр Федорович* – доктор технических наук, главный научный сотрудник Алтае-Саянского филиала Федерального исследовательского центра “Единая геофизическая служба РАН”. Основные научные интересы: сейсмология, инженерная сейсмология, сейсмологические исследования земной коры, алгоритмы обработки данных.

*САЛЬНИКОВ Александр Сергеевич* – доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории глубинных геофизических исследований и региональной сейсмичности Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН. Основные научные интересы: изучение структурно-скоростного строения земной коры и верхней мантии на опорных геолого-геофизических профилях Сибири и Дальнего Востока.

*Статья поступила в редакцию 10 марта 2026 г.,  
одобрена после рецензирования 12 апреля 2026 г.,  
принята к публикации 13 апреля 2026 г.*