

Г. В. ГОЛИКОВА (СПбГУ), Л. А. ДАРАГАН-СУШОВА (ВСЕГЕИ),  
А. А. КОВТУН, Е. Л. ЛЫСКОВА, К. Ю. САННИКОВ (СПбГУ)

## Особенности сейсмического волнового поля в северной части Баренцева моря по результатам численного моделирования

На основе экспериментальных материалов по двум скважинам в северной части Баренцева моря построены модели слоисто-однородных упругих сред, для которых выполнено полноволновое численное моделирование сейсмических волновых полей, возбуждаемых сосредоточенным источником. Анализ результатов моделирования позволил оценить влияние высокоскоростных слоев на характер формирования сейсмического волнового поля на разных эпицентральных расстояниях и определить области проявления экранирования. Изучены особенности полей проходящих и отраженных волн в интервалах глубин ниже залегания высокоскоростных пластов. Определены области генерации интерференционных колебаний, оценены их частотные и амплитудные характеристики, а также их вклад в поле отраженных волн. Дан прогноз состава и свойств волновых полей, регистрируемых при наземных и морских наблюдениях МОВ в указанном регионе.

Ключевые слова: численное моделирование сейсмического поля, высокоскоростной слой, эффекты экранирования, вейвлет-анализ сейсмического поля.

G. V. GOLIKOVA (SPbU), L. A. DARAGAN-SUSHCHOVA (VSEGEI),  
A. A. KOVTUN, E. L. LYSKOVA, K. YU. SANNIKOV (SPbU)

## Features of seismic wave field in the northern part of the Barents Sea from numerical simulation

On the basis of experimental materials on two wells in the northern part of the Barents Sea built several variants of the models in layered-homogeneous elastic media, for which performed full-wave numerical modeling of seismic wave fields excited by a point source. The analysis of simulation results allowed to estimate the influence of high-velocity layers on the nature of the seismic wave field at different epicentral distances and to identify areas for existence screening. The peculiarities of the fields transmitted and reflected waves within the range of depths below the bedding of high-velocity layers. The generation areas of the interference oscillations, and their contribution to the field of reflected waves was defined. The prediction of structure and properties of wave fields registered at land and sea observations by the method of reflected waves in the region was made.

Keywords: numerical modeling of seismic wave field, high-velocity layer, screening effect, wavelet analysis of a seismic wave field.

**Введение.** Интерес к изучению сейсмического волнового поля в северной части Баренцева моря обусловлен сложным геологическим строением осадочного чехла, особенно верхней его части. Геологическая интерпретация сейсмических волновых полей на некоторых участках шельфа северных морей затруднена из-за проявлений тектонических, вулканических, интрузивно-эффузивных процессов [1, 3], а также слабой изученности природы образования наблюдаемых волновых полей. На основе расчетов эффективных сейсмических моделей (ЭСМ) [4] в северной части Баренцева моря (рис. 1) получены модели разрезов по скважинам Нагурская (о. Земля Александры архипелага Земля Франца-Иосифа) и Грумантская (о. Западный Шпицберген) (Л.А. Дараган-Сушова, 1984). Установлено, что в верхней части геологического разреза по скв. Нагурская присутствует высокоскоростной (4,5 км/с) эффузивный покров мощностью 0,25 км, а в нижней части разреза, на фундаменте, – высокоскоростные карбонатные отложения. По магнитным

данным, эффузивный покров захватывает значительную площадь и на шельфе около острова, на это указывают и волновые сейсмические поля вдоль профиля (рис. 1, 2). В районе скв. Грумантская в верхней части разреза наблюдаются высокоскоростные терригенные породы со скоростями от 3,4 до 4,7 км/с, подверженные, по-видимому, метаморфизму. Расчеты интенсивностей отраженных и кратных волн (ОВ и КВ) на шельфовых эффективных сейсмических моделях (ЭСМ) в районе скважин показали, что уровень КВ от дна при высокоскоростной верхней части разреза значительно превышает уровень ОВ.

При вычитании КВ от дна ОВ в волновом поле на сейсмических разрезах наблюдаются на уровне шума (рис. 2, б) (Л.А. Дараган-Сушова, 1984).

Принимая во внимание сказанное выше, были сформулированы следующие задачи исследования:

– выявить при помощи численного моделирования влияние высокоскоростных слоев на формирование сейсмического волнового поля и выделить области проявления экранирования;

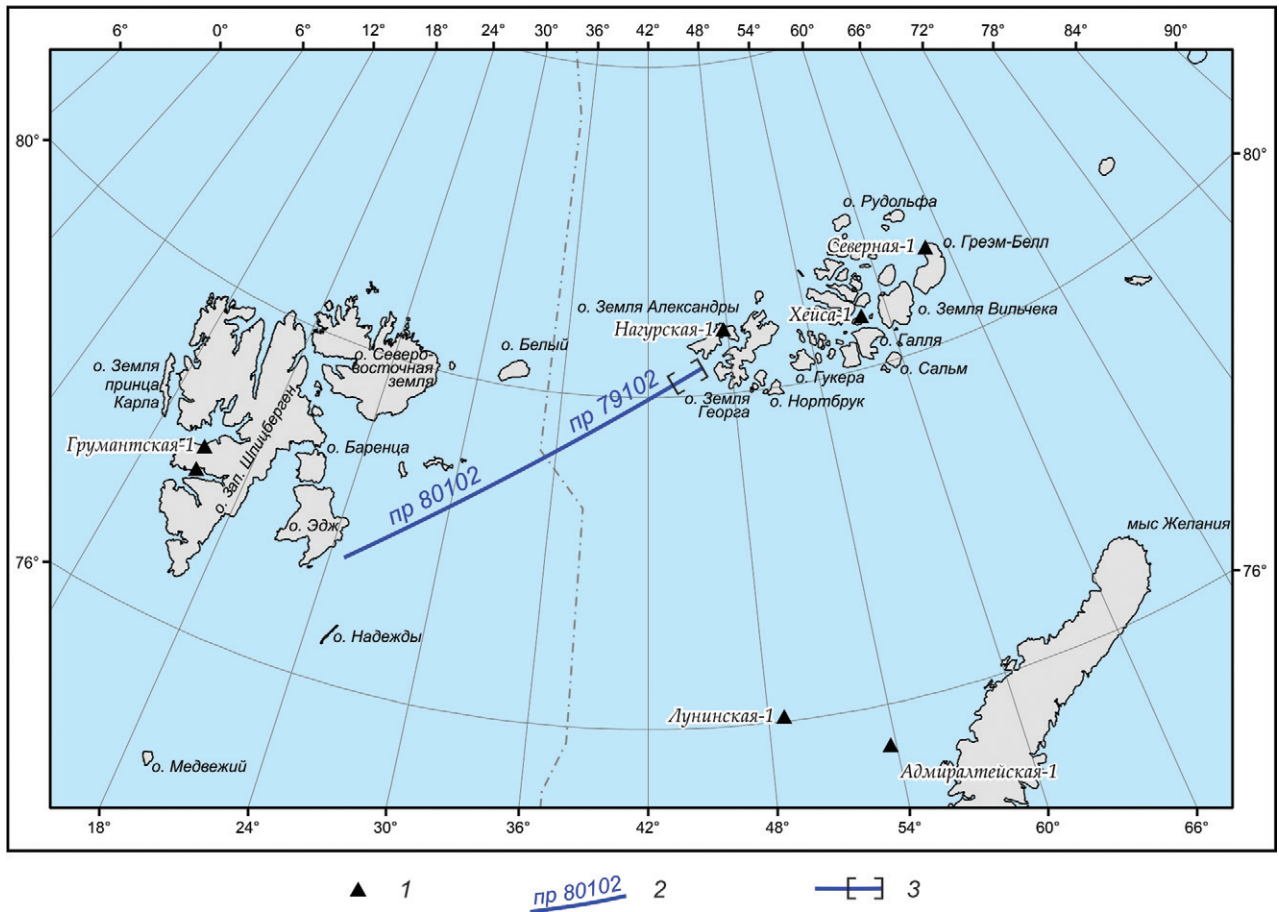


Рис. 1. Обзорная карта района исследований

1 – местоположение скважин; 2 – сейсмический профиль; 3 – пример сейсмической записи с влиянием эффузивных пород в верхней части разреза

– изучить особенности полей падающих проходящих и отраженных волн в интервалах глубин ниже залегания высокоскоростных пластов;

– выделить области формирования интерференционных колебаний, оценить их частотные и амплитудные характеристики, а также их вклад в поле отраженных волн.

Для решения поставленных задач в настоящей работе рассматривались ЭСМ слоистых сред, содержащих высокоскоростные толщи с прослоями пониженной скорости. Ранее в работе [2] были изучены свойства сейсмического волнового поля в простой модели упругой слоисто-однородной среды, содержащей высокоскоростной слой варьируемой мощности на различных эпицентральных расстояниях. Численное моделирование волнового поля позволило выявить ряд особенностей полей проходящих и отраженных волн, связанных с явлением сейсмического экранирования, учет которых важен при интерпретации волновых полей, регистрируемых на разных удалениях.

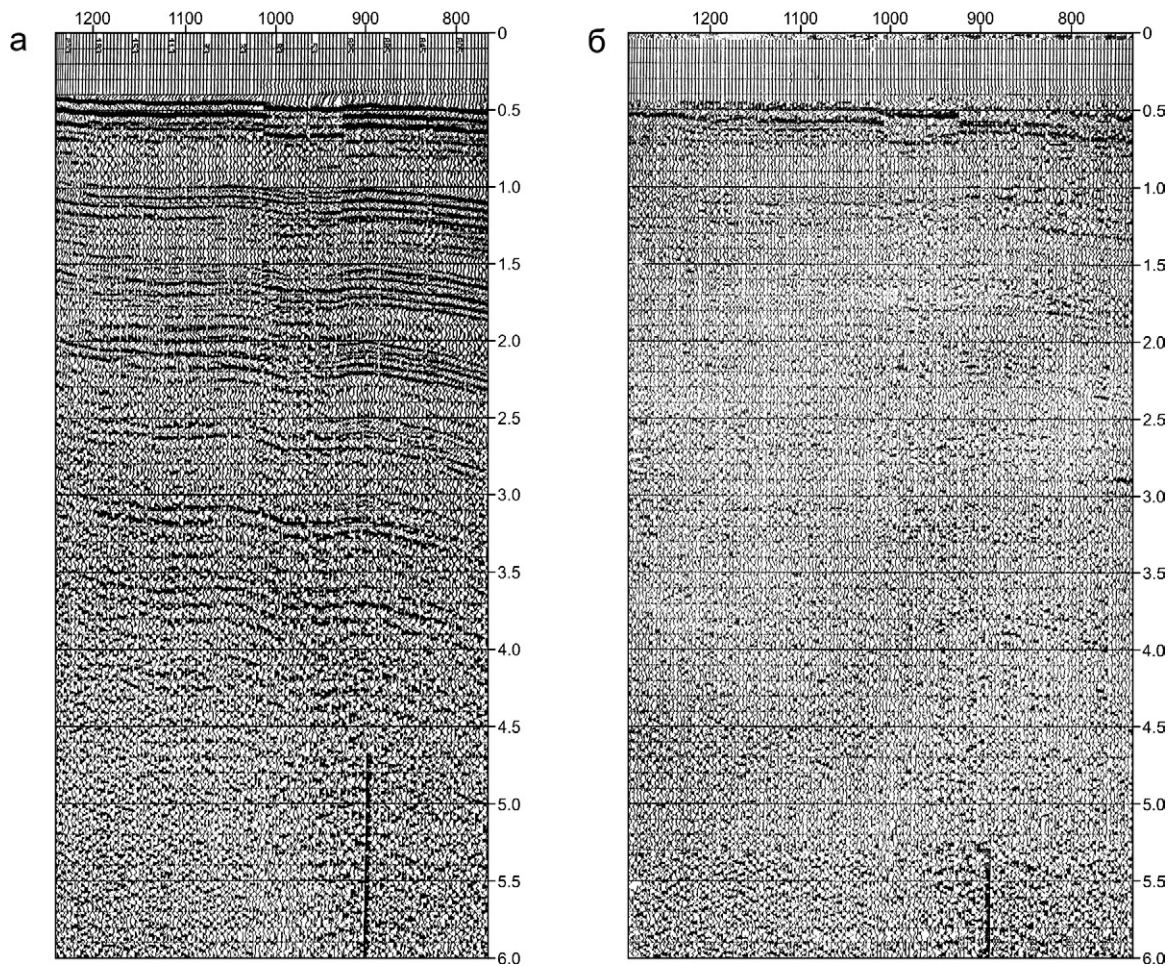
Модели сред были построены на основе каротажных и сейсмических данных по ЭСМ с эффузивным слоем базальтов на поверхности, перекрывающим неизмененные низкоскоростные терригенные осадочные породы в скв. Нагурская и по ЭСМ по скв. Грумантская без эффузивных пластов на поверхности, но с измененными высокоскоростными терригенными породами осадочного чехла.

Численное моделирование проводилось с использованием программы OASP из комплекса OASES,

разработанного Н. Shmidt [6]. Программный модуль OASP использует двухэтапное численное интегрирование в частотной области и метод «глобальной» матрицы и позволяет реализовать вычисление полного волнового поля, возбуждаемого нестационарным сосредоточенным источником в слоисто-однородной упругой среде с плоскопараллельными границами раздела [7].

Для рассматриваемых ниже моделей сред вычисление волновых полей производилось во внутренних точках среды по прямоугольной системе профилей, позволяющей конструировать наблюдения непродольного вертикального сейсмического профилирования (НВСП) и на горизонтальных профилях с общей точкой возбуждения (ОТВ). При всех вычислениях волновых полей временная функция в источнике выбиралась в виде производной от широкополосного однофазного аналитического импульса с максимумом модуля спектра на частоте 20 Гц и в отдельных случаях 40 Гц.

**Модели и сейсмические волновые поля по скважине Нагурская. Модель Н-у1 (морской вариант).** Базовая упругая модель среды (в координатах  $\{x, z\}$ ) с плоскопараллельными границами раздела по скв. Нагурская Н-у1 состоит из жидкого покрывающего полупространства ( $z < 0$ ), «толстых» слоев ( $0 < z < 3000$  м) с повышенными и пониженными скоростями волн, а также подстилающего высокоскоростного полупространства ( $z > 3000$  м). Параметры модели (глубина залегания кровли слоя Н,



**Рис. 2. Временной разрез ОГТ на шельфе в районе скв. Нагурская**

*a* – исходный разрез волнового поля после стандартного графа обработки; *б* – применение адаптивной фильтрации (вычитание поля кратных волн) к исходному разрезу

скорости продольных  $V_p$  и поперечных  $V_s$  волн, а также плотности  $\rho$ ) приведены в табл. 1. Отсчет глубин производится от уровня кровли высокоскоростного слоя. Сосредоточенный источник продольных волн (типа центра давления) расположен в точке ( $x = 0, z = H_{ист} = -150$  м) верхнего жидкого полупространства. Дневная поверхность отсутствует в модели, поскольку ее введение приводит к образованию интенсивных поверхностных волн разных типов, являющихся в нашем случае помехами.

В слоистой упругой среде с толстым (283 м) высокоскоростным слоем в верхней части разреза состав и свойства волнового поля существенно зависят от величины эпицентрального расстояния  $L$ . Поэтому прежде чем начать изучать поле отраженных волн на сейсмограммах ОТВ, вначале мы анализируем волновые поля НВСП на разных горизонтальных удалениях.

На небольших эпицентральных удалениях до 1 км сейсмограммы НВСП для модели Н-у1 (рис. 3, *a*) содержат в первых вступлениях вслед за полем прямой проходящей продольной волны поле кратных волн, которое сформировалось в верхнем толстом высокоскоростном слое ( $z = 0-283$  м) в области докритического прохождения падающей волны  $P_0$ . Внутри высокоскоростной толщи кратные продольные волны распространяются «лучевым образом» (по законам геометрической

Таблица 1  
**Усредненная упругая модель Н-у1 по скв. Нагурская (морской вариант)**

Номер слоя	H (м)	$V_p$ (м/с)	$V_s$ (м/с)	$\rho$ (г/см <sup>3</sup> )
1	-150	1500	0	1,0
2	0	4600	2400	2,5
3	283	3000	1500	2,2
4	540	3200	1600	2,25
5	1020	3700	1900	2,3
6	1250	3500	1800	2,25
7	1520	4600	2400	2,4
8	1650	6400	3300	2,6
9	1740	5600	3000	2,45
10	1820	6500	3400	2,5
11	2290	5200	2700	2,4
12	2420	5600	3000	2,45
13	2950	6000	3100	2,55
14	3180	6400	3300	2,6

сеймики) на значительные эпицентральные расстояния, формируя (при  $L \geq 1$  км) интерференционное поле продольных волн (рис. 3, *б*, 5). Это поле опережает прямую падающую волну  $P_0$ , которая в области закритического прохождения ( $L \geq 0,5$  км) интенсивна только при распространении в водном

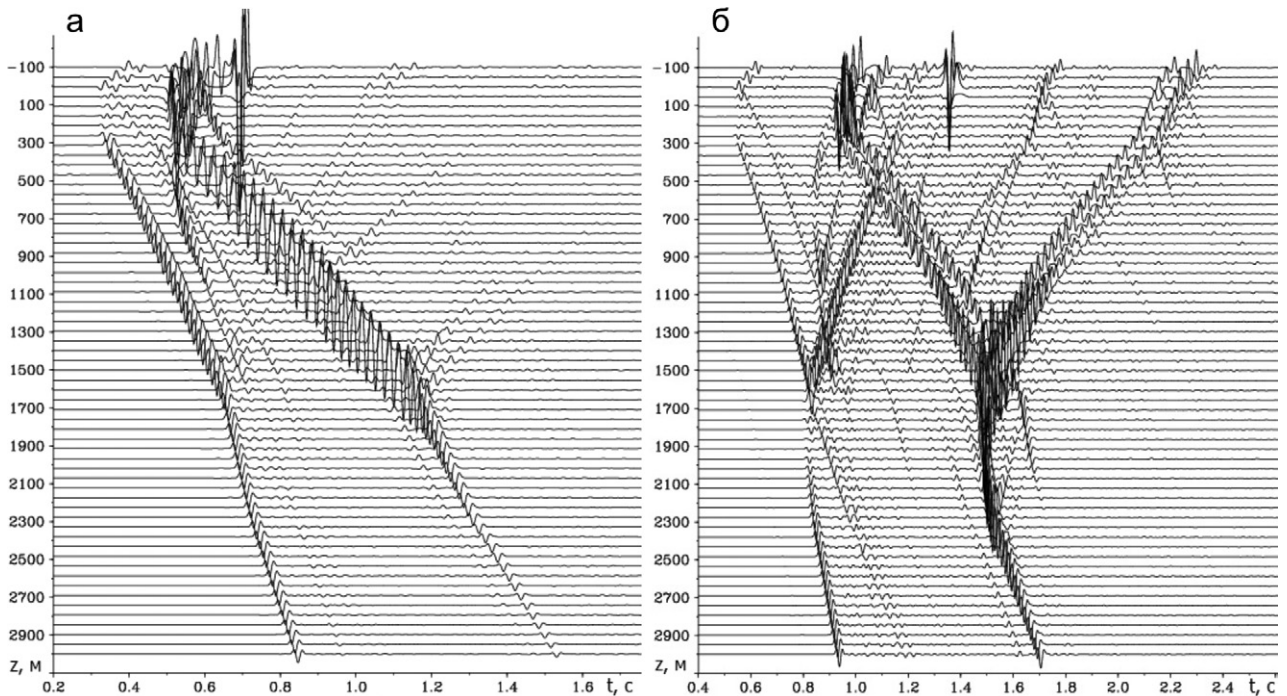


Рис. 3. Модель Н-у1. Вертикальная компонента поля НВСП,  $F = 40$  Гц

*a* – при  $L = 1,0$  км; *б* – при  $L = 2,0$  км

полупространстве и затухает за счет экранирования при вхождении в высокоскоростную среду, проникая вглубь в виде неоднородного возмущения лишь на глубину порядка  $\sim 100$  м.

В области докритического прохождения падающей волны на кровле высокоскоростной эффузивной толщи ( $z = 0-283$  м) образуется обменная поперечная PS волна (рис. 3, 4). На подошве высокоскоростного слоя эта PS волна образует проходящие вглубь поперечную (PSS) и обменную продольную (PSP) волны. Внутри верхнего высокоскоростного слоя за счет обменов кратных продольных волн формируется также интерференционное поле кратных поперечных волн, которое имеет большую интенсивность и меньшее затухание с увеличением эпицентрального расстояния, чем продольное поле (рис. 3–5). Подобные интерференционные поля продольных и поперечных волн образуются также в высокоскоростном интервале глубин 1520–1740 м. Распространяющиеся внутри высокоскоростных слоев продольные и поперечные интерференционные поля восходят на их кровле и подошве соответственно восходящие и нисходящие волновые поля разных типов (PP, PS и SS, SP).

В поле продольных волн ниже высокоскоростной толщи ( $z = 0-283$  м), кроме прямой падающей волны, все последующие проходящие продольные волны являются вторичными для  $L = 1,0$  км (рис. 3, *a*) и для  $L = 2,0$  км (рис. 4, *a*). Это либо кратные волны, либо обменные типа SP, возбуждаемые в верхнем высокоскоростном слое. На сейсмограмме восходящих продольных волн при  $L = 2,0$  км (рис. 4, *б*) в первых вступлениях выделяются отражения от основных контрастных границ. Ниже глубин 1700 м отраженные волны очень слабы и не прослеживаются до «дневной поверхности».

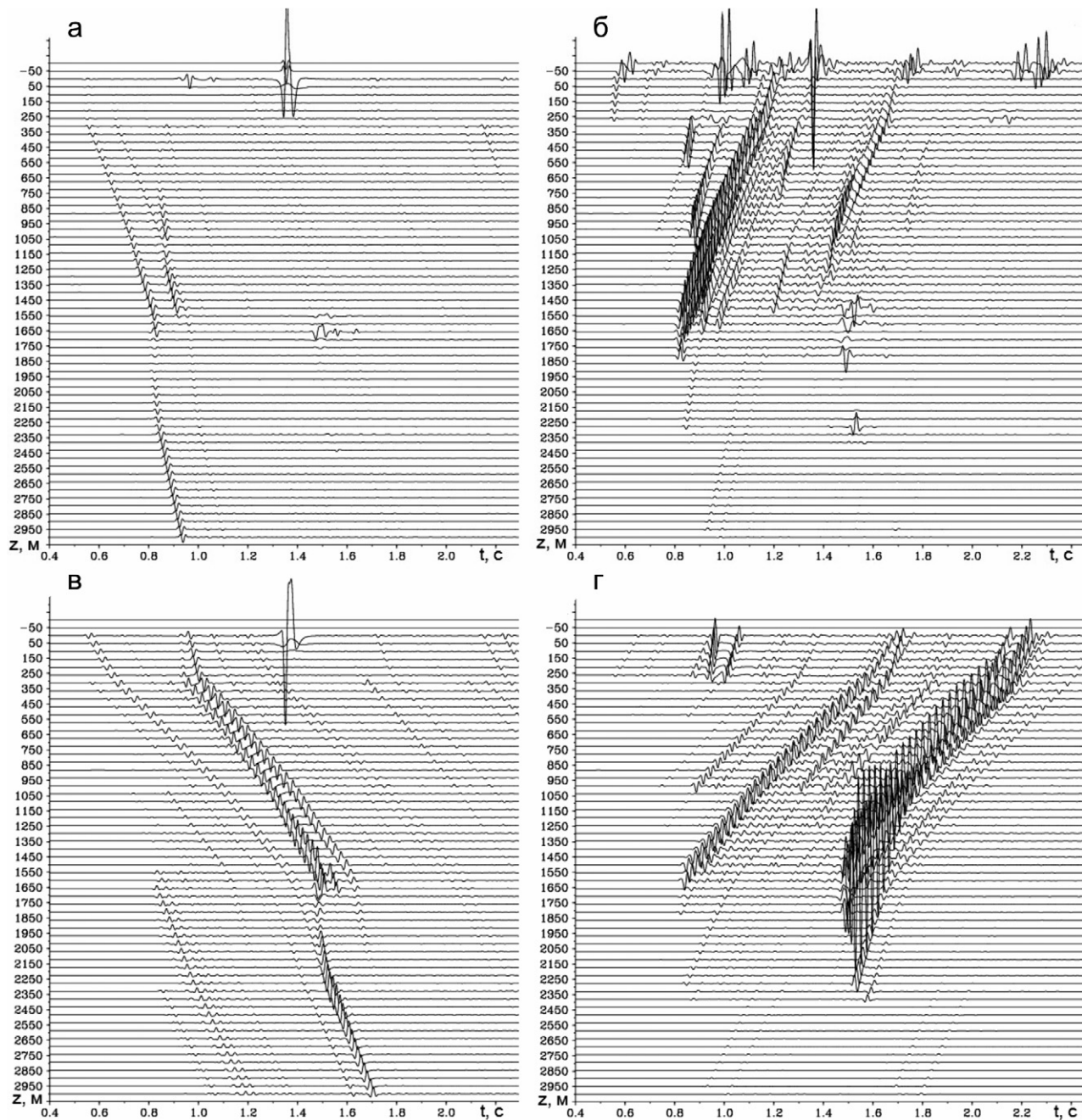
На отдельных сейсмограммах (рис. 3, *б*, 4, *в*, *г* для  $L = 2,0$  км) определяются области образования обменных поперечных волн. В поле падающих

(рис. 4, *в*) и восходящих (рис. 4, *г*) поперечных волн можно выделить две составные части. Первая – поперечные волны малой интенсивности, образованные в результате обменов продольных волн на границах разделов. Вторая – интенсивные (проходящие и восходящие) поперечные волны, порождаемые распространением внутри высокоскоростных слоев в интервалах глубин 0–283 м и 1520–1740 м интерференционных поперечных волновых полей. Второй тип интерференционных поперечных волн на удалениях  $L \geq 2,0$  км вносит основной вклад в формирование поля кратных поперечных волн в интервале глубин 283–1650 м.

В интервале глубин 0–1650 м сложное интерференционное волновое поле состоит из полей продольных и поперечных волн. При этом поле поперечных волн интенсивней, чем продольных (рис. 5). В образовании интенсивных полей кратных продольных и поперечных волн основную роль играют отражения от верхней части фундамента ( $z = 1520-1820$  м) и от дна ( $z = 0$ ). На больших эпицентральных удалениях отраженное волновое поле от верхней части фундамента приобретает свойства интерференционной квазиголовной волны (рис. 5).

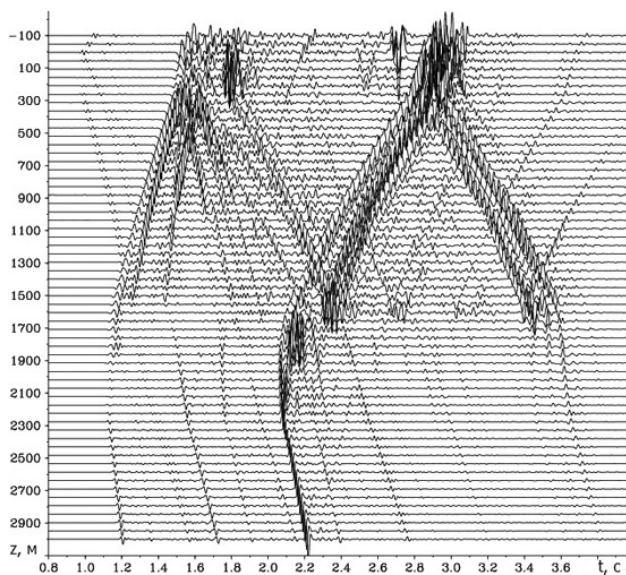
Деление полных волновых полей на составные части позволяет увидеть (рис. 4, *б*, *г*), что приходящие снизу к поверхности дна интенсивные поперечные волны обмениваются на продольные (SP), которые в водной среде также сохраняют высокую интенсивность.

По мере увеличения эпицентрального расстояния начинают проявляться особенности волнового поля, связанные с явлением сейсмического экранирования. Так, при  $L \geq 2,0$  км на сейсмограммах НВСП (рис. 3, *б*, 5) наблюдается постепенное ослабление (вплоть до полного исчезновения) поля проходящей продольной волны в интервале глубин 283–1520 м, и в то же время отмечается



**Рис. 4. Модель Н-у1. Сейсмограммы НВСП при  $L = 2,0$  км,  $F = 40$  Гц**

*a*–*в* – вертикальная компонента поля (*a* – падающих продольных волн, *б* – восходящих продольных волн, *в* – падающих поперечных волн); *г* – горизонтальная компонента поля восходящих поперечных волн



**Рис. 5. Модель Н-у1. Вертикальная компонента поля НВСП при  $L = 4,0$  км,  $F = 40$  Гц**

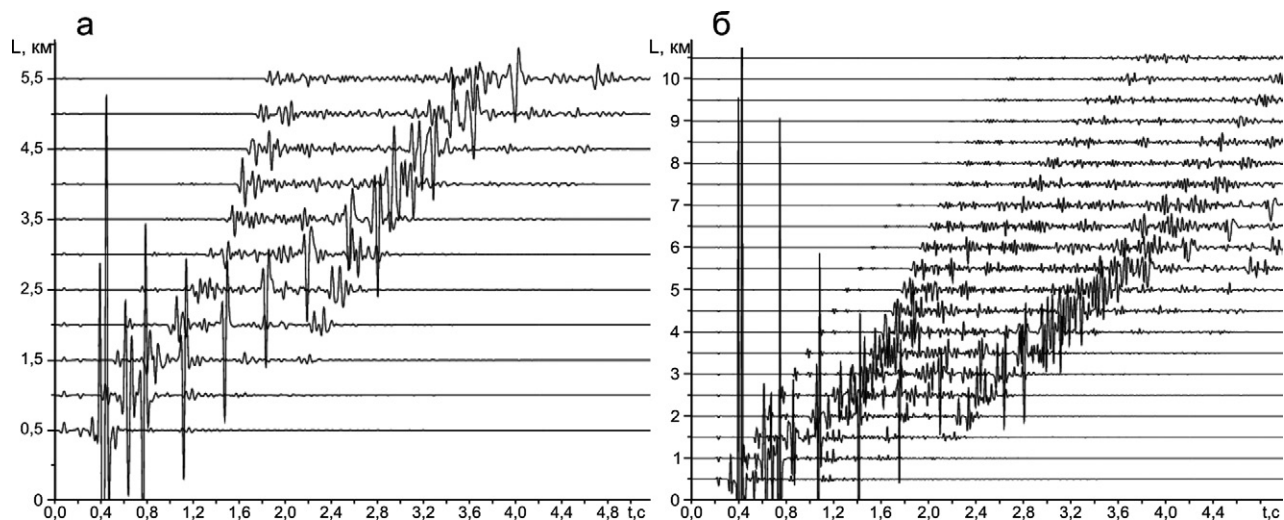


Рис. 6. Модель Н-у1. Сейсмограмма ОТВ с применением АРУ  
 а – при  $z = -100$  м,  $F = 20$  Гц; б – при  $z = -150$  м,  $F = 40$  Гц

относительное усиление этого поля в нижней части разреза в высокоскоростном фундаменте. В частности, при  $L = 4$  км (рис. 5) «лучевое» поле прямой проходящей волны начинает прослеживаться только с глубин более 2300 м. Поле проходящих волн ниже границы  $z = 1520$  м претерпевает скачок времен первых вступлений, при котором в некотором интервале глубин ( $z < 1520$  м) поле отраженных волн от нижележащих высокоскоростных горизонтов опережает падающее поле волны (рис. 5).

Поля отраженных волн, регистрируемые на горизонтальных профилях ОТВ в водной толще на уровне  $z = -100$  м при частоте в источнике 20 Гц и на уровне  $z = -150$  м при 40 Гц, представлены на рис. 6. На сейсмограммах ОТВ, кроме поля отраженных волн, присутствует прямая падающая волна  $P_0$ , которая остается интенсивной на всех офсетах и характеризуется прямолинейным пологим годографом. На удалениях  $L < 3,5$  км в первые вступления выходит уже упомянутое интерференционное поле продольных волн, образующееся внутри высокоскоростной толщи ( $z = 0-283$  м), которое по характеру распространения подобно интерференционной квазиголовной волне. Отметим, что затухание этой волны с увеличением эпицентрального расстояния и при низкой частоте в источнике (20 Гц) в упругой модели оказывается более сильным, чем в акустической, а также в упругой модели при частоте 40 Гц, и поэтому на рис. 6, а эти волны отсутствуют на больших офсетах. Очень слабыми являются также отражения от границ из интервала глубин 283–1500 м, которые прослеживаются только до удалений  $L \approx 3,5$  км. На больших удалениях ( $L \geq 3,5$  км на рис. 6, а) в первые вступления выходит интерференционное поле продольных волн, отраженных от глубинных горизонтов ( $z > 1500$  м) с номерами границ 7–10. В последующих вступлениях наблюдаются интерференционные поля вторичных волн.

*Модель Н-у2 (наземный вариант).* В модели Н-у2 покрывающей средой является низкоскоростное упругое полупространство с параметрами  $V_p = 1700$ ,  $V_s = 500$  м/с,  $\rho = 1,5$  г/см<sup>3</sup>. Параметры остальных слоев сохраняются такими же, как в Н-у1.

Состав волнового поля НВСП, его кинематические, динамические и частотные свойства, а также

характер их изменений при увеличении эпицентрального расстояния в общем и целом остаются такими же, как и в случае морского варианта модели среды Н-у1. Некоторые несущественные отличия волновых полей в моделях Н-у1 и Н-у2 могут проявляться на сейсмограммах ОТВ, регистрируемых в верхнем полупространстве. В модели Н-у2 поперечные волны могут распространяться в верхнем (твердом) полупространстве, поэтому степень интенсивности интерференционных волновых полей оказывается больше, чем в Н-у1. Кроме того, в случае Н-у2 интенсивность волны  $P_0$  быстрее убывает с возрастанием офсета, чем в Н-у1.

*Частотный состав волнового поля.* Для изучения частотного состава полей НВСП на удалениях  $L = 1,0, 2,0$  и 3,0 км при частоте импульса в источнике 20 Гц выполнен частотный анализ на основе использования вейвлет-преобразований [5]. Частотный анализ сейсмограммы НВСП при  $L = 1,0$  км свидетельствует, что поле проходящих (первые две-три ветви) продольных и обменных поперечных волн имеет стабильный частотный состав по всей глубине исследований, 20 Гц, совпадающий с частотой импульса в источнике. В верхней части разреза выделяется область пониженных частот 10–15 Гц, связанная с формированием интерференционных колебаний в высокоскоростном слое и просачиванием их до глубин  $\sim 550$  м. Пониженную частоту (10–15 Гц) имеет также обменная поперечная волна, порожденная запредельным преломлением падающей продольной волны  $P_0$ .

Частотный состав поля отраженных продольных и поперечных волн более сложный ( $\sim 10-25$  Гц). Обогащение волнового поля низкими частотами, по-видимому, происходит в зонах формирования интерференционных колебаний в интервалах глубин 0–283 и 1520–1740 м.

На эпицентральных удалениях  $L = 3,0$  км поля проходящих (первичных) продольных и обменных поперечных волн сохраняют частоту импульса в источнике 20 Гц до глубин 1600 м, однако ниже глубины 1740 м происходит понижение частоты до 15 Гц. Еще более низкочастотное (5–10 Гц) поле наблюдается в зоне формирования интерференционных колебаний в интервале глубин 1520–1740 м. Вторичное волновое поле проходящих продольных

**Усредненная упругая модель Г-у1  
по скв. Грумантская (наземный вариант)**

Номер слоя	H (м)	$V_p$ (м/с)	$V_s$ (м/с)	$\rho$ (г/см <sup>3</sup> )
1	-50	2000	1000	1,7
2	0	2500	1200	2,0
3	50	4500	2300	2,4
4	1170	3200	1300	2,15
5	1600	3500	1800	2,2
6	1800	4600	2100	2,4
7	2070	3800	1900	2,4
8	2200	4600	2400	2,45
9	2550	5600	2700	2,5

и поперечных волн в целом содержит преимущественно пониженный спектральный состав (от 5 до 20 Гц). Поля восходящих волн в основном наследуют частотный состав падающих волн. При этом для поля вторичных поперечных (падающих и восходящих) волн характерны более низкие частоты, чем для поля продольных волн.

Общий вывод: с увеличением эпицентрального расстояния происходит постепенное понижение частоты волнового поля. Наблюдаемые области пониженных частот (5–15 Гц), по-видимому, связаны с зонами формирования интерференционных колебаний в высокоскоростных слоях. Низкочастотными являются также интенсивные поля кратных волн, образующиеся в интервалах пониженных пластовых скоростей.

**Модели и сейсмические поля по скв. Грумантская. Модель Г-у1 (наземный вариант).** Базовая упругая модель по скв. Грумантская характеризуется наличием высокоскоростной толщи большой мощности ( $h = 1120$  м) в верхней части разреза и зоной пониженной скорости в интервале глубин 1170–1800 м. Ниже 2550 м залегают высокоскоростные породы фундамента. Параметры модели даны в табл. 2.

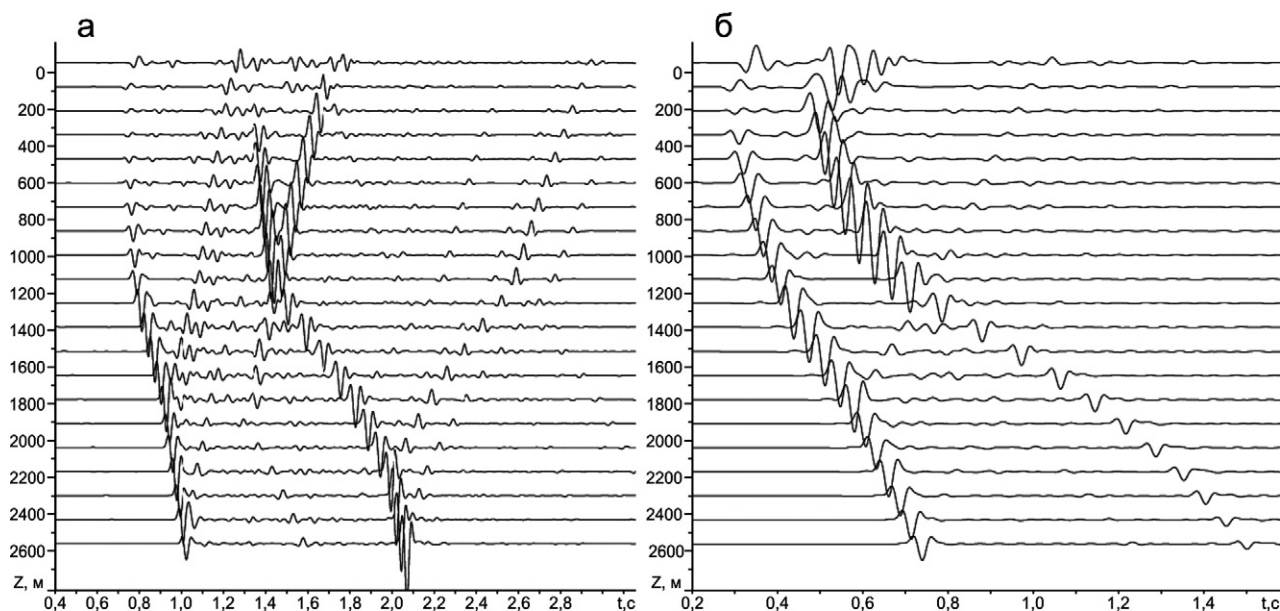
Вследствие большой мощности слоев и относительно слабой дифференциации разреза модель Г-у1 оказывается более простой, чем Н-у1. Некоторые особенности волнового поля, связанные с проявлением сейсмического экранирования, отмечаются здесь только на больших эпицентральных удалениях ( $L \geq 4$  км).

На малых и средних эпицентральных удалениях на сейсмограммах НВСП для  $L = 1$  км (рис. 7, а) удается выделить отраженные волны от всех границ модели. Наиболее интенсивные отражения Р-волн наблюдаются от кровли и подошвы высокоскоростной толщи ( $z = 50$ –1170 м), а также от границы 6. Внутри высокоскоростной толщи в верхней части разреза ( $z = 50$ –1170 м) образуется интенсивная обменная поперечная волна, проходящая вглубь нижележащей среды. На удалениях  $L \geq 2$  км для  $L = 3$  км (рис. 7, б) проходящие обменные

поперечные волны создают интенсивное поле вторичных восходящих продольных и поперечных волн. Относительная интенсивность поля обменной поперечной волны возрастает с увеличением удаления и при  $L \geq 2,0$  км начинает превосходить интенсивность продольных волн. При  $L \geq 3$  км в интервале глубин  $z = 1170$ –2200 м наблюдается формирование кратной обменной поперечной волны.

На сейсмограмме ОТВ (рис. 8) в первых вступлениях выделяются отражения  $P_3$  и  $P_4$  от кровли и подошвы высокоскоростной толщи  $z = 50$ –1170 м. В интервале времен 0,9–1,6 с последовательно вступают волны  $P_6$ ,  $P_9$ , отраженные от нижележащих границ. Выделяется также прямая падающая волна  $P_0$ , а на больших временах и офсетах регистрируются поперечные волны, отраженные от границ 4 и 8, а также обменные продольные волны.

**Модель Г-у2 (морской вариант).** В случае морского варианта модели Г-у2, в которой верхнее покрывающее полупространство заполнено водой, результаты вычислений волновых полей НВСП и ОТВ для моделей Г-у2 и Г-у1 качественно совпадают. В случае морского и наземного вариантов модели



**Рис. 7. Модель Г-у1. Вертикальная компонента поля НВСП,  $F = 20$  Гц**

а – при  $L = 1,0$  км, б – при  $L = 3,0$  км

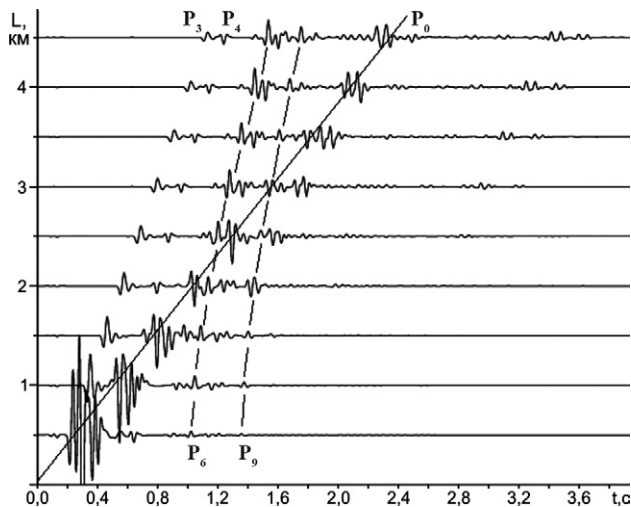


Рис. 8. Модель Г-у1. Сейсмограмма ОТВ с применением АРУ ( $z = -50$  м)

волнового поля ОТВ отличаются только в кинематике и динамике прямой падающей волны  $P_0$ .

Анализ результатов численного моделирования волновых полей НВСП и ОТВ, полученных для морского и наземного вариантов моделей (по данным скважин Нагурская и Грумантская), позволяет оценить влияние высокоскоростной толщи в верхней части разреза на характер изменений состава и свойств сейсмического поля на разных эпицентральных удалениях.

**Выводы.** На основе результатов численного моделирования сейсмических волновых полей в случае моделей, построенных по данным скв. Нагурская, установлено:

1. Сейсмическое экранирование проявляется в полном затухании поля прямой волны внутри приповерхностного высокоскоростного слоя мощностью более 280 м при закритических углах падения. При условиях прохождения прямой волны в области докритических углов падения на упомянутый высокоскоростной слой влияние этого слоя на состав и свойства волнового поля начинает существенно проявляться на больших эпицентральных расстояниях. По мере увеличения эпицентральных удалений ( $L \geq 2,0$  км) происходит постепенное затухание поля прямой падающей волны в интервале глубин  $280 \text{ м} < z \leq 1520 \text{ м}$  и соответственно пропадают отражения от границ из этого интервала.

2. Для выделения отражений в районе скв. Нагурская от целевых границ из интервала глубин  $280 \text{ м} < z < 1500 \text{ м}$  на сейсмограммах ОТВ более благоприятны удаления, приблизительно равные глубине залегания интересующих горизонтов. На больших удалениях ( $L \geq 2,0$  км) возрастает интенсивность полей вторичных волн, которые перекрывают отражения от глубинных границ разреза  $z \geq 1800 \text{ м}$ .

3. В области удалений  $L \geq 2,0$  км проходящие обменные волны типа SP, порождаемые высокоскоростным слоем в верхней части разреза, возбуждают отраженные волны от интересующих границ разреза. Кинематика таких волн отличается от монотипных продольных волн, но при правильной их интерпретации на основе материалов НВСП они могут дать дополнительную полезную информацию об объектах сейсмического разреза.

4. Результаты моделирования волновых полей НВСП на разных эпицентральных удалениях показали, что прохождение прямой падающей волны через высокоскоростные толщи в интервалах глубин  $0-283$  и  $1520-1740 \text{ м}$  возбуждает в них распространение интерференционных полей продольных и поперечных волн. Эти поля затухают с увеличением эпицентрального расстояния в силу излучения на кровле и подошве высокоскоростных слоев восходящих и проходящих преломленных волновых полей. Интерференционное поле поперечных волн в сравнении с продольным характеризуется более низким частотным составом, большей интенсивностью и более слабым затуханием.

5. На сейсмограммах ОТВ интерференционное поле продольных волн, излучаемое высокоскоростной зоной в интервале глубин  $1520-1740 \text{ м}$  (верхняя часть фундамента), прослеживается на всех офсетах. На удалениях  $L \geq 3,0$  км кинематика этого поля становится близкой к кинематике квазиголовной волны. Более слабое интерференционное поле продольных волн, генерируемое приповерхностной высокоскоростной толщей, кинематика которого также подобна квазиголовной волне, регистрируется на малых и средних офсетах в области первых вступлений.

6. На удалениях  $L \geq 1,5$  км между дном моря и верхней частью фундамента в зоне пониженных пластовых скоростей формируется сложное интерференционное волновое поле, образующееся из интерференционных полей кратных продольных и поперечных волн. Основную роль в образовании полей кратных волн в этой зоне играют вышеупомянутые высокоскоростные толщи ( $z = 0-283$  и  $1520-1820 \text{ м}$ ).

7. В моделях, построенных по материалам скв. Грумантская, влияние приповерхностной высокоскоростной толщи мощностью более 1000 м проявляется только на больших эпицентральных удалениях  $L \geq 4,0$  км. Основные границы разреза могут выделяться на сейсмограммах ОТВ в широком диапазоне удалений  $L \sim 0-4$  км (порядка удвоенной глубины интересующих горизонтов). Условия для применения наземной и морской сейсморазведки в районе скв. Грумантская благоприятны.

1. Баренцевская шельфовая плита // Труды ПГО «Севморгеология» / под ред. И.С. Грамберга. — Л.: Недра, 1988. — 263 с.

2. Голикова Г.В., Ковтун А.А. Особенности сейсмического волнового поля в области экранирования // Вопросы геофизики. Вып. 47. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2014. — С. 84–94.

3. Дараган-Суцова Л.А. Геология и тектоника Северо-Востока Российской Арктики (по сейсмическим данным) / Л.А. Дараган-Суцова, О.В. Петров, Н.Н. Соболев, Ю.И. Дараган-Суцов, Л.Р. Гринько, Н.А. Петровская // Геотектоника. 2015. № 6. — С. 3–19.

4. Метод эффективной сейсмической модели / под ред. Б.Я. Гельчинского. — Л.: Изд-во ЛГУ, 1975. — 206 с.

5. Санников К.Ю., Лыскова Е.Л., Голикова Г.В. Применение вейвлет-анализа для слоистого разреза // Вестник СПбГУ. Серия 4: физика, химия. Вып. 2. 2012. — С. 29–39.

6. Schmidt H. OASES Version 3.1. User Guide and Reference Manual. Department of Ocean Engineering Massachusetts Institute of Technology. February 20, 2004.

7. Schmidt H., Jensen F. A full wave solution for propagation in multilayered viscoelastic media with application to Gaussian beam reflection at fluid-solid interfaces // J. Acoust. Soc. Amer. 1985. Vol. 77. P. 813–825.



---

1. Barentsevy shelf plate. *Works PGO "Sevmorgeologiya"*. Ed by I.S. Gramberg. Leningrad: Nedra. 1988. 263 p. (In Russian).

2. Golikova G.V., Kovtun A.A. The peculiarities of seismic wave-fields in region of shielding. *Voprosi geofiziki*. St. Petersburg: Edition of St. Petersburg University. 2014. Iss. 47. Pp. 84–94. (In Russian).

3. Daragan-Sushova L.A., Petrov O.V., Sobolev N.N., Daragan-Sushov J.I., Grinko L.R., Petrovskaya N.A. Geology and Tectonics of the Northeast Russian Arctic Region, Based on Seismic Data. *Geotekhnika*. 2015. No 6, pp. 3–19. (In Russian).

4. Metod effektivnoi seismicheskoi modeli [Method of effective seismic model] Ed by B.Y. Gelchinskogo. Izd. Leningradskogo Universiteta. 1975. 206 p.

5. Sannikov K.Yu., Lyskova E.L., Golikova G.V. The application of wavelet-analysis for layered section. *Vestnik SPb. Universiteta*. Series 4: physics, chemistry. 2012. Iss. 2, pp. 29–39. (In Russian).

6. Schmidt, H. 2004: OASES Version 3.1. User Guide and Reference Manual. *Department of Ocean Engineering Massachusetts Institute of Technology. February 20*.

7. Schmidt, H., Jensen, F. 1985: A full wave solution for propagation in multilayered viscoelastic media with application to Gaussian beam reflection at fluid-solid interfaces. *J. Acoust. Soc. Amer.*, vol. 77. 813–825.

---

*Голікова Галина Вікторівна* – канд. фіз.-матем. наук, ст. науч. співробітник, фізический факультет СПбГУ<sup>1</sup>. <g\_golikova@mail.ru>

*Дараган-Сушова Лідія Анатоліївна* – канд. геол.-мінер. наук, вед. науч. співробітник, Всеросійський научно-дослідницький геологічний інститут ім. А.П. Карпінського (ВСЕГЕІ). Середній пр., 74, Санкт-Петербург, 199106, Росія. <ldaragan@vsegei.ru>

*Ковтун Олександр Андреевич* – канд. фіз.-матем. наук, вед. інженер, фіз. ф-т СПбГУ<sup>1</sup>, <al\_an\_kovtun\_46@mail.ru>

*Льскова Євгенія Леонідівна* – канд. фіз.-матем. наук, ст. науч. співробітник, фіз. ф-т СПбГУ<sup>1</sup>, <jllyskova@gmail.com>

*Санніков Констатин Юрьевич* – інженер-дослідник, фіз. ф-т СПбГУ<sup>1</sup>. <sannikov\_kyu@mail.ru>

*Golikova Galina Viktorovna* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Department of Physics SPbU<sup>1</sup>. <g\_golikova@mail.ru>

*Daragan-Sushchova Lidia Anatoljevna* – Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Leading Researcher, A.P. Karpinsky Russian Geological Research Institute (VSEGEI). 74, Sredny Prospect, St. Petersburg, 199106, Russia. <ldaragan@vsegei.ru>

*Kovtun Aleksandr Andreevich* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Leading Engineer, Department of Physics SPbU<sup>1</sup>. <al\_an\_kovtun\_46@mail.ru>

*Lyskova Evgeniy Leonidovna* – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Department of Physics SPbU<sup>1</sup>. <jllyskova@gmail.com>

*Sannikov Konstantin Yur'evich* – Research Engineer, Department of Physics SPbU<sup>1</sup>. <sannikov\_kyu@mail.ru>

<sup>1</sup> Фізический факультет Санкт-Петербурзького державного університету (СПбГУ). Ул. Ульяновська, д. 1, Петергоф, Санкт-Петербург, 198504, Росія.

Department of Physics, St. Petersburg State University (Department of Physics SPbU). 1 Ul'yanovskaya str., Petergof, St. Petersburg, 198504, Russia.