

**СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ В ТЕОРЕТИЧЕСКИХ  
ВОЛНОВЫХ ПОЛЯХ НА РЕГИОНАЛЬНОМ ПРОФИЛЕ  
ЧЕРЕЗ ВОСТОЧНО-БАРЕНЦЕВСКИЙ БАССЕЙН**

Г.В. Голикова\*, Л.А. Дараган-Суццова\*\*, К.Ю. Санников\*, Е.Л. Лыскова\*  
(\*СПбГУ, физический факультет, Санкт-Петербург,  
\*\*ФГУП «ВСЕГЕИ» Санкт-Петербург)

**SEISMIC EFFECTS IN THEORETICAL WAVE FIELDS  
ON A REGIONAL PROFILE THROUGH  
THE EAST BARENTS BASIN**

G.V. Golikova\*, L.A. Daragan-Sushhova\*\*, K.Yu. Sannikov\*, E.L. Lyskova\*  
(\*St.Petersburg State University, Physics Faculty, St.Petersburg,  
\*\* FGUP «VSEGEI», St.Petersburg )

**Аннотация.** По материалам экспериментальных исследований по региональному сейсмическому профилю, проходящему через Восточно-Баренцевский бассейн, изучаются проявления сейсмической границы ( $I_a$ ), связанной с замещением терригенных отложений карбонатами в толще пермских отложений. Построены три сейсмические модели структурных блоков разреза вдоль указанного профиля. На основе численного моделирования волновых полей проведен анализ изменения амплитуд целевых глубинных волн в разных моделях. Отмечено влияние на затухание волн геометрического расхождения и фактора преломления на высокоскоростных интрузиях. Изучены частотные характеристики волновых полей.

**Abstract.** Based on experimental data along the regional seismic profile passing through the East Barents Basin, the seismic border ( $I_a$ ) connected with replacement of terrigenous deposits with carbonates in the Permian part of the section is studied. Three seismic models of a section along the specified profile are constructed. On the basis of numerical modeling of wave fields the analysis of amplitude variation of some deep waves in different models is carried out. Influence on attenuation of waves of a geometrical spreading and refraction factor on high-velocity intrusions is noted. Frequency characteristics of wave fields are studied.

## **Постановка задачи**

В пермский этап развития Баренцева моря произошла смена карбонатного осадконакопления терригенным. На временных разрезах ОГТ этот переход фиксируется сейсмическим горизонтом  $I_a$ . Пермские черные сланцы глубоких впадин и рифовые постройки на их бортах являются нефтематеринскими с высоким содержанием сапропелевого органического вещества. Учитывая практическую значимость краевых рифовых формаций основная цель проводившихся исследований в Восточно-Баренцевском бассейне заключалась в определении внешней границы карбонатного шельфа с областью распространения синхронных терригенных толщ внутренних частей глубоких впадин [1–4]. Для решения фундаментальной задачи, связанной с прослеживанием горизонта  $I_a$  на территории областей Восточно-Баренцевского бассейна, было выполнено численное моделирование волновых полей по эталонному профилю, проходящему через Адмиралтейский вал (модель М–1), Лудловско-Луниинскую седловину (модель М–3) и поднятие Ферсмана (модель М–2).

Цель этих работ заключалась в изучении закономерностей скоростного строения разреза вдоль профиля, в построении сейсмических моделей выделяемых структурных блоков разреза и в выявлении особенностей волновых полей, формируемых в этих моделях. Предполагалось выявить и оценить роль сейсмических эффектов, возникающих на отдельных интервалах профиля.

## **Модели структурных блоков**

Скоростные модели структурных блоков строились на отдельных участках профиля с горизонтально слоистым залеганием отложений. Для вычисления пластовых скоростей использовались эффективные скорости ОГТ. Для трех моделей в верхней части разреза в количественном отношении отмечается близкое приращение продольной скорости от дна моря до глубин 2.0–2.4 км и составляет от 2.4 до 4.25 км/с. Ниже указанных глубин и до глубин 7.0 км модели отличаются друг от друга. Модели М–2 и М–3 характеризуются существованием толстых слоев мощностью 500–1000 метров, которые отделяются друг от друга более тонкими слоями интрузий с повышенной скоростью. Значения пластовых скоростей в мощных слоях М–2 находятся в интервале 4.25–4.6 км/с, в слоях М–3 – в интервале 4.25–5.0 км/с. В указанных модельных разрезах интрузии имеют скорости 4.5 км/с. Модель М–1 не содержит интрузий. В ней отмечается быстрое возрастание скорости от 4.3 км/с до 6.0 км/с в средней части разреза. В целом, слои с одинаковыми скоростными характеристиками в М–3 имеют повышенную мощность и находятся на большей глубине по сравнению с моделями М–1 и М–2.

Численное моделирование волнового поля выполнялось по программе OASP из вычислительного комплекса OASES [5], реализующей вычисления волнового поля в осесимметричной слоистой-однородной среде на основе численного интегрирования по волновому числу и с применением глобального матричного метода. Теоретические сейсмограммы рассчитывались по горизонтальным поверхностным профилям и по вертикальным профилям типа ВСП.

### **Определение динамического диапазона поля в разных моделях**

Рассмотрение амплитудных кривых во времени показало, что все они имеют точку излома. До точки излома кривые резко затухают, а после точки излома затухание замедляется. Такая особенность поля связана со спецификой нарастания геометрического расхождения.

Определялись также изменения относительных амплитуд волн между двумя опорными точками. Вторая точка соответствовала интенсивности поля в точке регистрации волны  $I_a$ . Динамический диапазон поля оценивался величиной затухания между указанных двух точек. Поле в модели М-1 затухает в 2.5 раза, в модели М-2 – в 3.7 раза, а в модели М-3 – в 12 раз. При этом оказалось, что вблизи вертикали падение уровня интенсивности в основном связано с увеличением мощности отложений, в пределах которых измерено затухание.

### **О влиянии высокоскоростных слоев в разрезе и возможном существовании экранирования**

Для анализа были рассчитаны различные сейсмограммы, в том числе по системе непродольного ВСП при удалении источника возбуждения от вертикальной линии наблюдения на 0.5, 1.0, 1.5 км. Такие сейсмограммы позволяют выполнить привязку волн к элементам модели и увидеть закономерности формирования поля внутри среды. На сейсмограммах (рис.1) можно видеть особое поле перед вступлением глубинных волн  $I$  и  $I_a$ , которое возникает при падении волн на границы слоев высокой скорости. Поле прослеживается со скоростью, близкой к скорости распространения основных волн, и отличается от них по частоте записи. Данное поле известно давно [6–7]. Оно интерпретируется, как поле, распространяющееся по скользящей траектории через слои высокой скорости, и свидетельствует о близости угла падения волн  $I$ ,  $I_a$  к предельному углу для высокоскоростного слоя. По аналогии с результатами интерпретации волн в области экранирования можно предположить о существовании поля, прошедшего через слой-экран с

поперечной скоростью, а по выходе из экрана и до поверхности наблюдения распространяющегося с продольной скоростью.

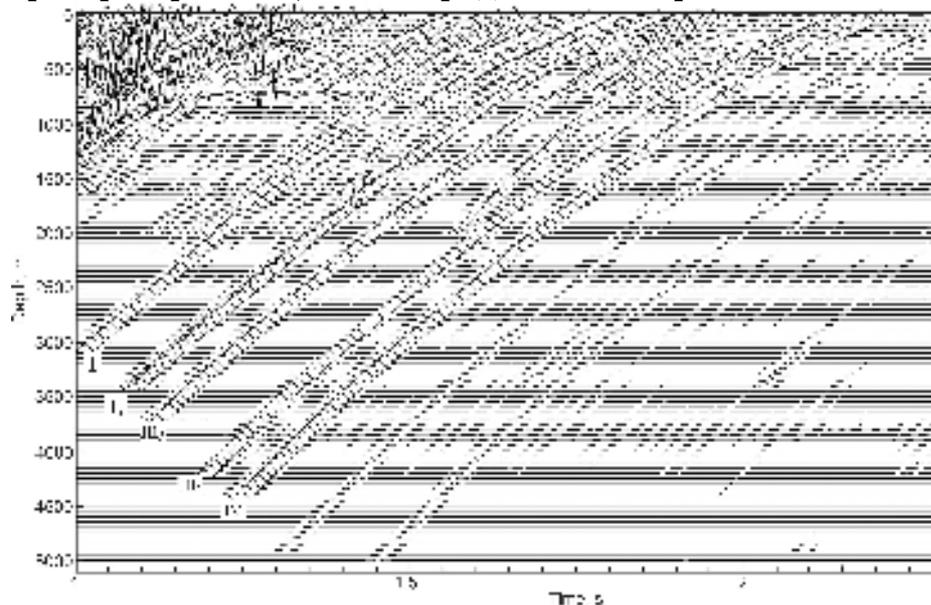


Рис.1

Сейсмограммы, отвечающие М-3 (рис.2) и удалению источника 1.0 км, свидетельствуют о сложной деформации поля для волн I и более ранних по времени вступления отраженных волнах. В целом, поля, прошедшие через слои высокой скорости и регистрируемые на временах, меньших времени регистрации волны  $I_a$ , несколько ослаблены. Основная волна  $I_a$  проходит через высокоскоростные слои как слабая лучевая волна. Ослабление данной волны происходит у места ее образования и связано с невысоким значением коэффициента отражения и увеличенным значением геометрического расхождения.

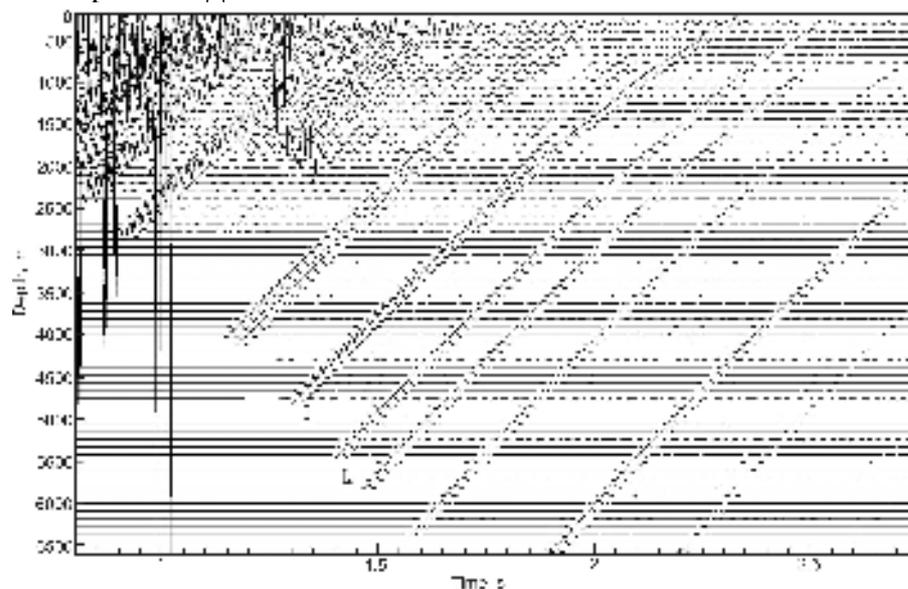


Рис.2

При удалении пункта возбуждения на 1.5 км изучаемые волновые поля становятся одинаковыми для всех моделей. Глубинные волны, проходя через слои повышенной скорости не испытывают влияния этих слоев. Слои повышенной скорости становятся прозрачными для глубинных волн. Это свойство поля обсуждалось в [6].

Было выполнено вейвлет-преобразование поля для моделей М-2 и М-3, отличающихся удалением источника до точки наблюдения. Применение данного метода позволило проанализировать поведение частот при прохождении отраженных глубинных волн через высокоскоростные слои и выявить закономерности в их распространении. В частности, для модели М-2 на рис. 3 видно разделение волны  $\Pi_2$ , проходящей через высокоскоростной слой, на две ветви. Аналогичная картина наблюдается в модели М-3 на примере волны I (рис. 4). Пересечение данных слоев приводит к обогащению частотного состава поля. Из рисунков видно, что левые ветви характеризуются в среднем более низкочастотными сигналами. В каждой из ветвей высокие частоты выходят на поверхность до низких частот. Возникающая сложная интерференционная картина приводит к ослаблению и размыванию сигнала на поверхности.

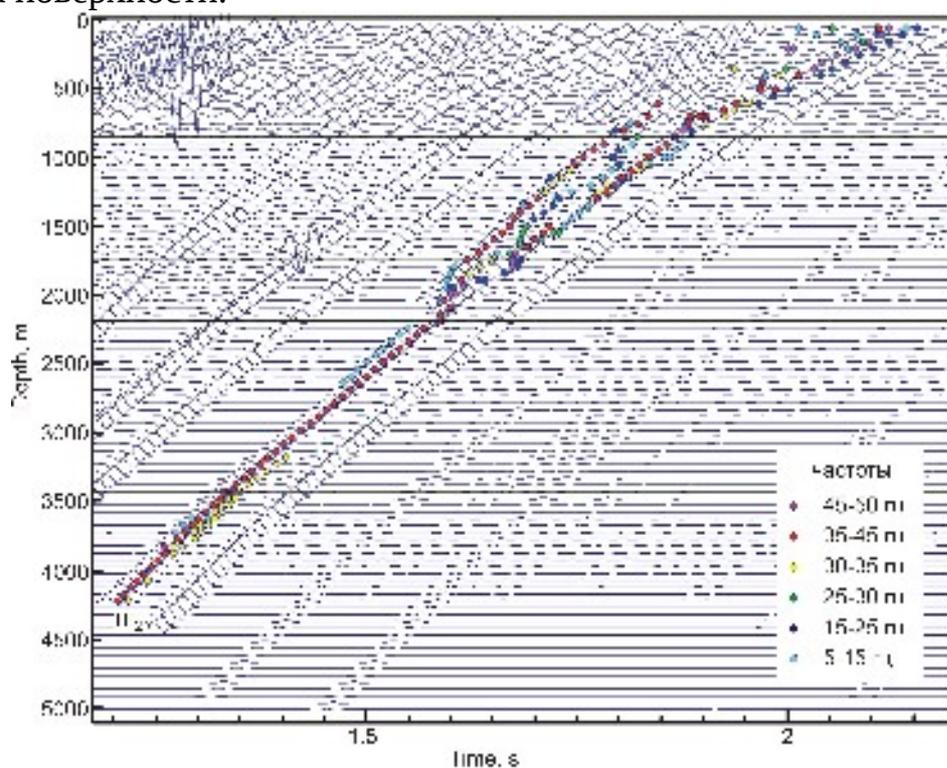


Рис.3

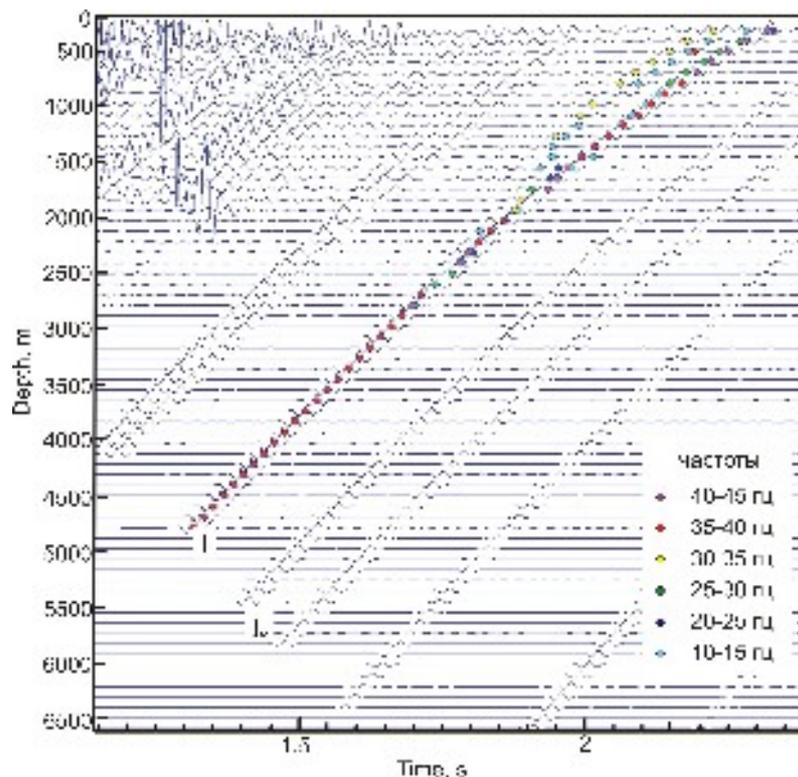


Рис.4

## Результаты

Численное моделирование волновых полей для трех моделей глубинного строения осадочных отложений вдоль регионального профиля позволило спрогнозировать основные амплитудно-частотные свойства полей глубинных волн в условиях их прохождения через высокоскоростные слои в верхней и средней частях разреза.

Полученные характеристики волнового поля могут быть использованы для интерпретации поверхностных наблюдений и для планирования систем наблюдений ОГТ.

## Литература

1. Сакулина Т.С., Рослов Ю.В., Иванова Н.М. Глубинные сейсмические исследования в Баренцевом и Карском морях // Физика Земли. 2003, № 6. С. 5–20.
2. Шипилов Э.В. К тектонико-геодинамической эволюции континентальных окраин Арктики в эпохи молодого океанообразования // Геотектоника, 2004, № 5, С. 26–52.
3. Дараган-Суцова Л.А., Дараган-Суцов Ю.И., Рукавишникова Д.Д., Соловьев В.В., Петров Е.О., Кузнецова Л.Ф. История геологического развития Баренцево-Карского региона на основе

анализа структурных и палеоструктурных сейсмических карт, Труды «RAO/GIS OFFSHORE 2009», Т. 1, 15-18 сентября 2009 г., СПб, Россия, С. 54–60.

4. Дараган-Суцова Л.А., Дараган-Суцов Ю.И., Рукавишникова Д.Д., Соловьев В.В., Петров Е.О., Кузнецова Л.Ф. Фанерозойская история развития Баренцево-Карского региона на основе анализа структурных и палеоструктурных карт // Региональная геология и металлогения. № 38. 2009, С. 21–30.
5. Schmidt H. Oases Version 3.1. User Guide and Reference Manual. Department of Ocean Engineering Massachusetts Institute of Technology. February 20, 2004.
6. Погоняйло Г.Г., Гельчинский Б. Я. Об особенностях эффективной сейсмической модели для больших расстояний (при наличии экранирующих слоёв) // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. XVII. Л.: Наука, 1977, С. 202–208.
7. Голикова Г.В., Чижова М.В., Сурков Ю.А. Особенности волнового поля, возникающие при прохождении высокоскоростных слоёв в области предельного угла // Вопросы динамической теории распространения сейсмических волн. XXVII, Л.: Наука, 1987, С. 144–158.