

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СЕЙСМОСТРАТИГРАФИИ ПРИ ДОРАЗВЕДКЕ ЗАЛЕЖЕЙ НЕФТИ ПАШИЙСКОГО ГОРИЗОНТА НА ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ ЮЖНО-ТАТАРСКОГО СВОДА

Гоголь Д.В.

*Казанский государственный университет*

*Сейсмическая стратиграфия является мощным инструментом при разведке месторождений углеводородов. В данной статье на примере месторождения, расположенного на восточном склоне Южно-Татарского свода, показана возможность эффективного применения методов качественной и количественной сейсмической стратиграфии при доразведке залежей нефти пашийского горизонта терригенного девона.*

## **Введение**

До недавнего времени интерпретация данных сейсморазведки, полученных в пределах Татарстана, сводилась в основном к исследованию строения осадочного чехла по отдельным опорным отражающим горизонтам. При таком подходе сейсмическая запись между опорными горизонтами практически не использовалась, хотя еще в 70-ые годы XX века геологами и геофизиками фирмы «Еххон» было показано, что она содержит, наряду с опорными отражениями, важную информацию о литологии и емкостных свойствах геологической среды [2]. Традиционный способ кинематической интерпретации не может обеспечить извлечение этой информации, в связи с чем возникает необходимость привлечения методов сейсмической стратиграфии для решения данной задачи.

Развитие сейсмической стратиграфии со времени возникновения этой научной дисциплины происходило по двум направлениям. Одно из них ориентировано на поиск способов извлечения стратиграфической информации посредством качественного анализа отраженных волн. С целью выделения характерных ассоциаций отражений и их классификации изучаются вариации амплитуды отраженных волн, протяженности осей синфазности и их взаимная согласованность. Таким ассоциациям ставятся в соответствие определенные

стратиграфические образования, изученные по данным бурения. Второе направление сейсмостратиграфии заключается в построении синтетических сейсмограмм и временных разрезов методами численного моделирования на ЭВМ. В этом случае по данным исследований в скважинах или на основе априорных представлений о разрезе строится модель слоистой среды, каждый слой которой характеризуется определенной мощностью, скоростью распространения сейсмических волн, плотностью и декрементом поглощения. После составления модели проводится расчет синтетических волновых полей, с которыми сопоставляется полевая запись [3]. Методы и приемы сейсмической стратиграфии, первоначально возникшей в качестве инструмента исследования осадочных бассейнов при поисках месторождений углеводородов и малых объемах данных глубокого бурения, могут быть успешно применены и при доразведке сложнопостроенных залежей нефти в Татарстане, что показано в настоящей статье на примере одного из месторождений восточного склона Южно-Татарского свода, в пределах которого была проведена трехмерная сейсморазведка.

### **1. Общая характеристика объекта исследования**

Наиболее интересным в практическом плане объектом исследования в пределах изучаемого месторождения являются отложения терригенного девона, представленные породами старооскольского горизонта живетского яруса, пашийского и тиманского горизонтов франского яруса. По данным глубокого бурения залежи нефти в отложениях терригенного девона на месторождении приурочены к песчаным образованиям пашийского горизонта, характеризующимся резкой литолого-фациальной изменчивостью. Высокая степень изменчивости разреза пашийского горизонта подтверждается материалами геофизических исследований скважин. На рис. 1 приведена схема корреляции отложений терригенного девона месторождения по данным электрического каротажа с выравниванием по подошве «верхнего известняка», кривая КС нанесена на схеме синим цветом. Максимальное удаление между соседними скважинами, по разрезам которых проводилось построение схемы

корреляции, не превышало 1.5 км. При этом скважины площади № 1, № 2, № 5 вскрыли в пашийских отложениях нефтенасыщенные пласты-коллекторы D<sub>1a</sub> и D<sub>1b</sub>, в то время как скважинами № 3, № 4 в этом стратиграфическом интервале терригенного девона была вскрыта зона фациального замещения продуктивных коллекторов глинистыми породами.

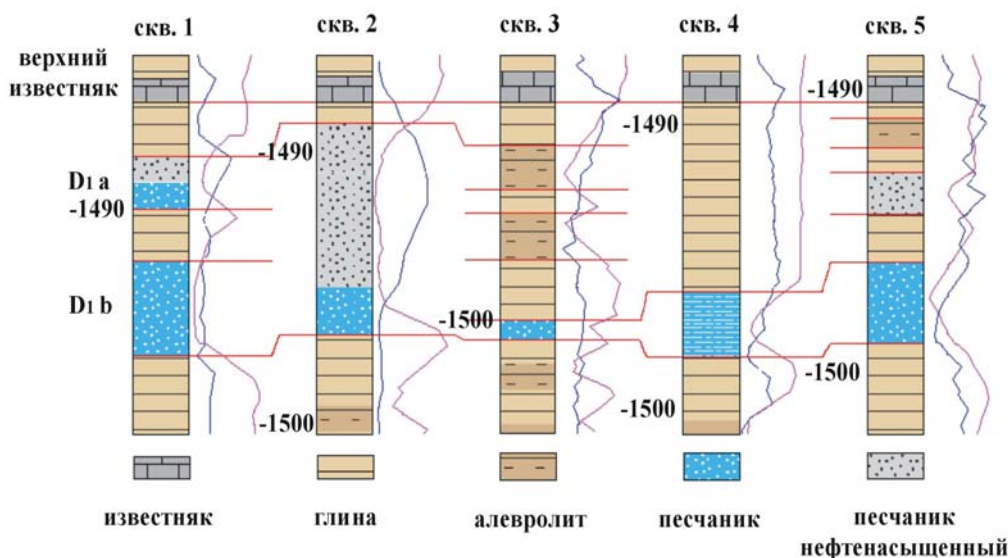


Рисунок 1. Схема корреляции отложений терригенного девона по линии скважин 1 – 2 – 3 – 4 – 5

Анализ вертикальных срезов куба сейсмических данных по площади месторождения показывает, что в интервале терригенного девона наблюдаются не только опорные отражения Д и А, приуроченные, соответственно, к подошве репера «аяксы» и поверхности кристаллического фундамента, но также прослеживается некоторая промежуточная сейсмическая запись (рис. 2). При этом наиболее характерной аномалией сейсмической записи на площади месторождения является расклинивание на ряде участков положительной фазы промежуточного отражения, следующего за опорным отражением Д.

Сопоставляя данные геофизических исследований скважин и особенностей сейсмического волнового поля, можно отметить, что скважины № 1, № 2, № 5, вскрывшие нефтенасыщенные пласты в пашийском горизонте, располагаются на участках с описанной выше клиноформной записью промежуточного отражения,

тогда как «пустые» скважины № 3, № 4 находятся вне данных аномальных зон сейсмического поля (рис. 2).

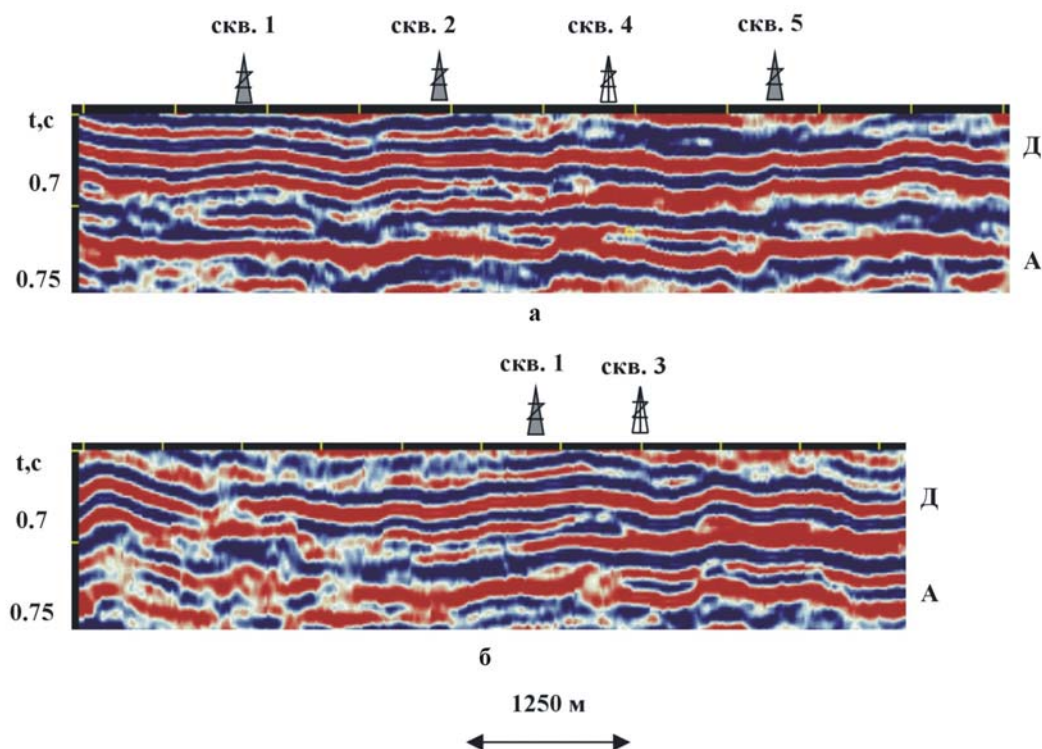


Рисунок 2. Характер волнового поля в интервале терригенного девона по площади месторождения ( а – сечение 1, б – сечение 2)

## 2. Постановка задачи

Целью исследований, методика и результаты которых изложены в данной статье, было изучение возможности использования рассмотренной выше аномалии сейсмической записи при решении задачи доразведки рассматриваемого месторождения нефти. Имеющиеся материалы сейморазведки и геофизических исследований скважин позволяют выдвинуть предположение о том, что аномальная запись промежуточного отражения в девонском терригенном комплексе связана с участками развития нефтеносных коллекторов в пашийских отложениях. С целью проверки данной гипотезы было принято решение о

совместном проведении качественного сейсмогеологического анализа и численного моделирования по линии 430 куба сейсмических данных. Анализ сейсмофациальной структуры девонского терригенного комплекса по данной линии позволяет отметить, что первая положительная фаза, следующая за опорным отражением Д, расклинивается с образованием характерной сейсмической записи на двух участках профиля (рис. 3).

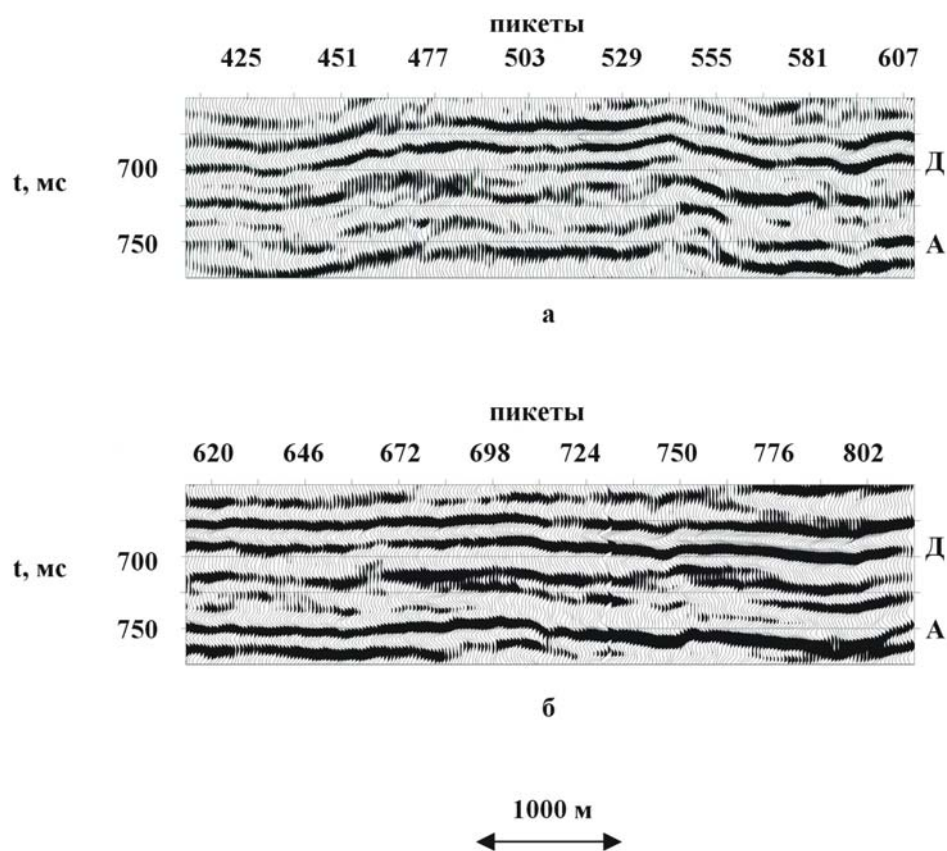


Рисунок 3. Характер волнового поля в интервале терригенного девона по линии 430 ( а – интервал от пикета 410 до пикета 610, б – интервал от пикета 615 до пикета 815)

Первый участок с аномальной сейсмозаписью промежуточного отражения приходится на интервал от 455 до 545 пикета, второй участок располагается в пределах от 680 до 815 пикета профиля.

### 3. Методика сейсмического моделирования

**3.1. Программное обеспечение.** Для расчета синтетических материалов сейсморазведки применялся комплекс программ tesseral-2d, предназначенный для моделирования сейсмических и акустических полей на персональном компьютере. Алгоритм расчета волновых полей в данном программном комплексе строится на численном решении волнового уравнения для заданной модели геологической среды и системы наблюдения. Комплекс программ tesseral-2d состоит из блока построителя модели, позволяющего создавать тонкослоистые сейсмогеологические модели, вычислительного блока и визуализатора результатов.

**3.2. Построение модели среды.** Для построения сейсмогеологической модели по линии 430 были использованы структурные карты по опорным отражающим горизонтам В, У, Т и Д осадочного чехла и результаты интерпретации данных радиоактивного каротажа скважины № 6, расположенной в зоне выклинивания пашийских песчаников. Длина синтетического сейсмического профиля была равна 12350 м. Линия приведения при расчетах была принята равной + 200 метров, что соответствует средней отметке рельефа дневной поверхности в пределах площади исследований. Построение сейсмогеологической модели подразделялось на два этапа, на первом этапе с использованием структурных карт по опорным отражающим горизонтам В, У, Т и Д строилась толстослоистая верхняя составляющая модели, в дальнейшем по данным радиоактивного каротажа скважины № 6 проводилось построение тонкослоистой составляющей модели в интервале девонского терригенного комплекса. При построении модели области опесчанивания в верхней части разреза пашийского горизонта были заданы на двух участках, где по данным качественного анализа была отмечена клиноформная запись промежуточного отражения; вне данных участков происходило резкое замещение песчаников непроницаемыми глинистыми породами (рис. 4).

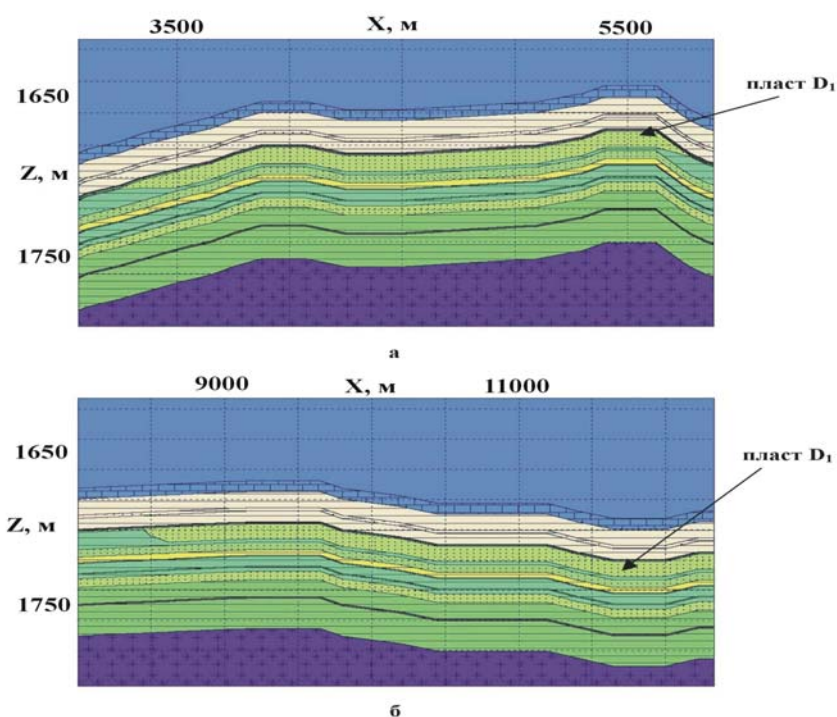


Рисунок 4. Фрагменты сейсмогеологической модели в интервале терригенного девона (а – интервал от 3000 м до 6000 м, б – интервал от 8000 м до 12350 м)

Мощность пашийских песчаников на предполагаемых участках опесчанивания задавалась равной 10 м, поскольку в пробуренных ранее скважинах суммарная мощность прослоев пласта  $D_1$  не превышает 10.9 м. Скоростные параметры толстых слоев подбирались таким образом, чтобы времена регистрации опорных отражений на реальном и синтетическом временных разрезах совпадали в точках начала профилей, пластовые скорости в интервале отложений терригенного девона задавались по данным акустического каротажа.

Отношение скоростей продольных и поперечных волн для терригенных пород задавалось равным 1.6, для карбонатных пород – 1.8. Плотности пород задавались по данным исследований образцов из разреза скважины № 7 Уральской площади, непосредственно прилегающей к району исследований. Структура тонкослоистой составляющей модели со скоростными характеристиками приведена в табл. 1.

Таблица 1

Параметры тонкослоистой составляющей модели среды

| ярус      | горизонт        | литология,<br>наименование слоя | скорость<br>продольных<br>волн, м/с<br>плотность,<br>кг/м <sup>3</sup> |
|-----------|-----------------|---------------------------------|--|
| франский  | тиманский       | «аяксы»                         | 5550 / 2810  |
|           |                 | аргиллит                        | 2500 / 2480  |
|           |                 | алевролит                       | 2500 / 2480  |
|           |                 | аргиллит                        | 2500 / 2480  |
|           |                 | «верхний известняк»             | 6700 / 2810  |
|           | пашийский       | аргиллит                        | 5000 / 2540  |
|           |                 | песчаник D <sub>1</sub>         | 3850 / 2080  |
|           |                 | аргиллит                        | 5000 / 2540  |
|           |                 | песчаник                        | 4000 / 2080  |
|           |                 | аргиллит                        | 3570 / 2570  |
| живетский | старооскольский | алевролит                       | 5300 / 2470  |
|           |                 | аргиллит                        | 5000 / 2570  |
|           |                 | алевролит                       | 5000 / 2470  |
|           |                 | аргиллит                        | 5000 / 2570  |
|           |                 | песчаник                        | 3850 / 2100  |
|           |                 | аргиллит                        | 4550 / 2570  |
|           |                 | «средний известняк»             | 6700 / 2870  |
|           |                 | глина                           | 4550 / 2570  |

**3.3. Выбор параметров импульса и системы наблюдения.** Параметры источника упругих волн для моделирования подбирались по наблюдаемым полевым данным с использованием программы обработки данных сейсморазведки sps-rc. Для выбора средней частоты модельного сигнала применялся модуль анализа статистических характеристик волнового поля. Анализ волнового поля по линии 430 проводился во временном окне от 0 мс до

750 мс, нижняя граница окна анализа соответствует среднему времени регистрации опорного отражения А от кровли кристаллического фундамента по линии 430. В качестве средней частоты модельного импульса задавалась преобладающая частота, полученная при анализе реальных данных. По линии 430 средняя частота модельного сигнала была задана равной 55 Гц. При выборе формы модельного сигнала учитывался тот факт, что реальные сейсморазведочные материалы по площади месторождения были получены с применением в качестве источников упругих волн вибрационных установок, для которых характерна симметричная нуль-фазовая форма импульса на сейсмических записях [1]. Расчеты синтетического волнового поля проводились для фланговой системы наблюдения, состоящей из 48 регистрирующих каналов. Расстояния между соседними пикетами приема и возбуждения составляли 50 метров. Длительность регистрации волнового поля была выбрана равной 1.25 с, интервал дискретизации составлял 2 мс.

**3.4. Обработка сейсмических данных.** Обработка синтетических данных включала в себя сортировку трасс по сейсмограммам ОГТ, получение скоростных спектров, выбор скоростных законов, суммирование и миграционное преобразование по алгоритму Кирхгофа.

Вертикальный скоростной анализ проводился в диапазоне скоростей от 2000 м/с до 6500 м/с, шаг сканирования по скорости составлял 20 м/с. Интервал по профилю между точками скоростного анализа был выбран равным 500 м, интерпретация спектров скорости и выбор скоростных законов проводились с учетом априорных сведений о сейсмогеологическом строении разреза. Миграционное преобразование синтетического временного разреза выполнялось с целью учета сейсмического сноса [4].

#### **4. Результаты исследований**

Качественный анализ структуры волнового поля в интервале девонского терригенного сеймостратиграфического комплекса по линии 430 позволил отметить определенную особенность записи промежуточных отражений. На интервалах линии 430 от пикета 455 до пикета 545 и от пикета 680 до пикета 815

положительная фаза, следующая за опорным отражением Д, расклинивается с образованием промежуточной отрицательной фазы. На срезе куба сейсмических данных на этих участках прослеживаются клиноформы, ограниченные двумя положительными фазами записи. Результаты качественного анализа волнового поля с учетом имеющихся скважинных данных позволили сделать предположение о соответствии участков с клиноформной записью промежуточного отражения зонам развития песчаных коллекторов в верхней части разреза пашийского горизонта. Для проверки данной гипотезы в программе tesseral-2d была построена сейсмогеологическая модель по линии 430 и получены синтетические сейсморазведочные данные, которые в дальнейшем были обработаны в соответствующем блоке программы. В результате обработки был получен синтетический временной разрез, на котором в интервале девонского терригенного сеймостратиграфического комплекса были прослежены от трех до четырех положительных фаз отражений. При этом на двух участках профиля, где было задано развитие пашийских нефтеносных коллекторов, наблюдается расклинивание положительной фазы, следующей за опорным отражающим горизонтом Д (рис. 5).

Таким образом, на основании данных расчетов синтетических волновых полей подтверждается выдвинутая на этапе качественного сейсмогеологического анализа гипотеза о природе аномальной сейсмозаписи промежуточного отражения. Численное моделирование сейсмических волновых полей показало, что зоны фациального замещения пластов-коллекторов глинистыми разностями, характеризующимися большими значениями акустической жесткости, отличаются по структуре волновой картины от участков опесчанивания. Полученные в результате количественных расчетов данные об особенностях отображения в сейсмическом волновом поле пластов-коллекторов пашийского возраста имеют важное практическое значение и могут быть использованы при доразведке исследуемого месторождения.

Необходимо отметить, что совместное применение методов качественной и количественной сеймостратиграфии позволило установить геологическую информативность промежуточных отражений в девонском терригенном комплексе, анализу которых до недавнего времени не уделялось должного

внимания. Это обстоятельство позволяет экстраполировать установленные на данном месторождении закономерности на прилегающие площади и подтверждает эффективность совместного применения качественного анализа волновых полей и сейсмического моделирования.

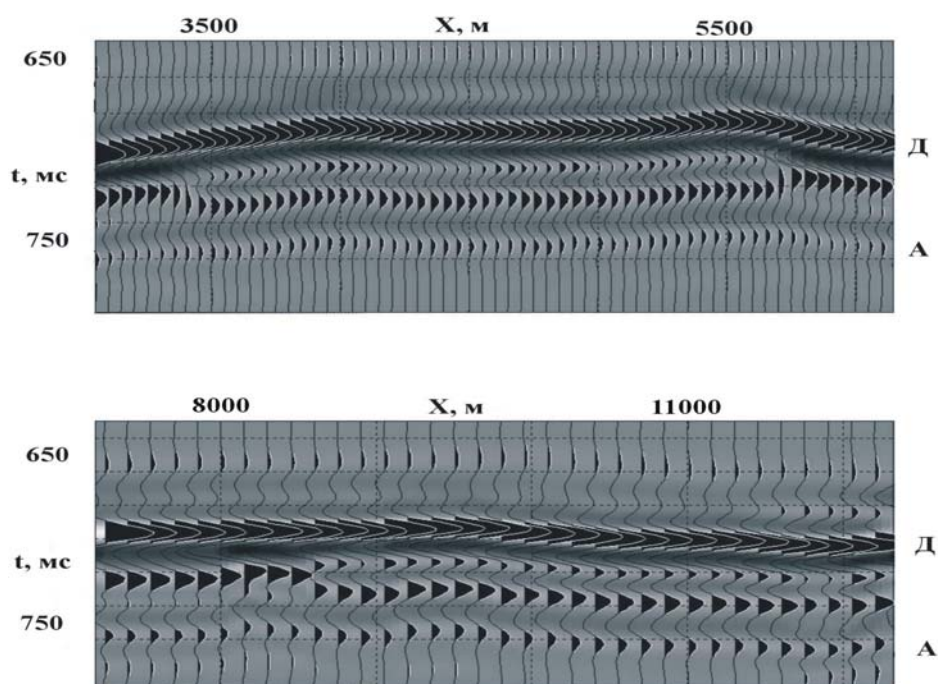


Рисунок 5. Фрагменты синтетического временного разреза по линии 430 (а – интервал от 3050 м до 6150 м, б – интервал от 7600 м до 12350 м)

### Заключение

Таким образом, в результате выполненной работы могут быть сделаны следующие выводы:

- качество данных сейсморазведки по площади исследуемого месторождения позволяет проводить сейсмофациальный анализ.
- количественные расчеты синтетических волновых полей подтверждают выдвинутую гипотезу о соответствии участков аномальной записи с расклиниванием положительной фазы после опорного отражения Д зонам

развития песчаных нефтеносных коллекторов в верхней части разреза пашийского горизонта.

- проведенные исследования показали, что применение методов сейсмической стратиграфии может быть полезным не только на поисковом этапе, но также и при доразведке сложнопостроенных месторождений нефти в Татарстане.

### Литература

1. Вибрационная сейсморазведка / М.Б. Шнеерсон, О.А. Потапов, В.А. Гродзенский и др. – М.: Недра, 1990. – 240 с.
2. Корягин В.В. Стратиграфическая интерпретация данных сейсморазведки на основе итеративного моделирования / В. В. Корягин // Геофизика. – 1999. – № 4. – С. 15 – 20.
3. Сейсмическая стратиграфия / Р.Е. Шерифф, А.П. Грегори, П.Р. Вейл, Р.М. Митчем мл. и др. – М.: Мир, 1982. – 846 с.
4. Хаттон Л. Обработка сейсмических данных: теория и практика / Л. Хаттон, М. Уэрдингтон, Дж. Мейкин. – М.: Мир, 1989. – 216 с.