

УДК 550.834.048

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ СЕЙСМОСТРАТИГРАФИИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ РАЗРЕЗОВ ТЕРРИГЕННОГО ДЕВОНА НА ВОСТОЧНОМ СКЛОНЕ ЮЖНО-ТАТАРСКОГО СВОДА

*Д.В. Гоголь*

### Аннотация

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-е гг. XX в. геологами и геофизиками фирмы «Еххон» было показано, что она содержит, наряду с опорными отражениями, важную информацию о литологии и емкостных свойствах геологической среды [1]. Традиционный способ кинематической интерпретации не может обеспечить извлечение этой информации, в связи с чем возникает необходимость привлечения методов сейсмической стратиграфии в решении 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 взаимной согласованности. Таким ассоциациям ставятся в соответствие определенные стратиграфические образования, изученные по данным бурения. Второе направление сейсмостратиграфии заключается в построении синтетических сейсмограмм или временных разрезов методами численного моделирования. В этом случае по данным исследований в скважинах или на основе априорных представлений исследователя о разрезе строится модель слоистой среды, каждый слой которой характеризуется определенной мощностью, скоростью распространения сейсмических волн, плотностью и декрементом поглощения. После построения модели проводится расчет синтетических волновых полей, с которыми сопоставляется полевая запись [2, с. 9–10]. Методы и приемы сейсмической страти-

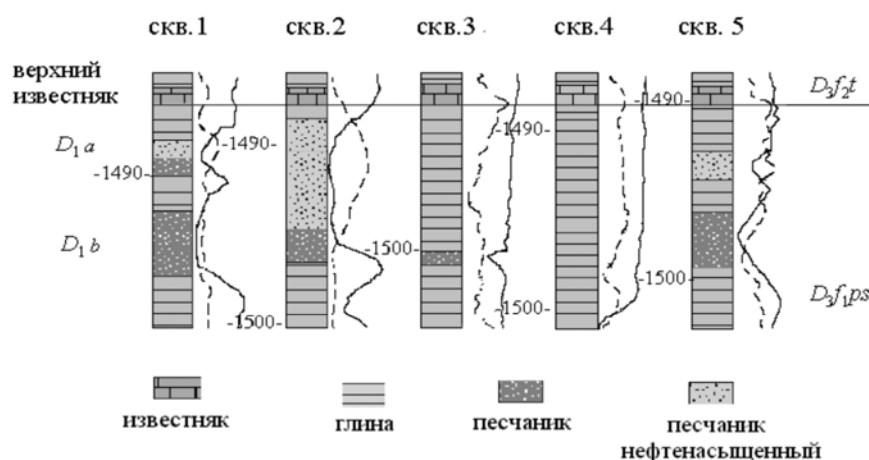


Рис. 1. Схема корреляции отложений терригенного девона по площади месторождения

графии, первоначально возникшей в качестве инструмента исследования осадочных бассейнов при поисках месторождений углеводородов и малых объемах или полном отсутствии данных глубокого бурения, могут быть успешно применены и при доразведке месторождений 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 объектом исследования в пределах изучаемого месторождения являются отложения терригенного девона, представленные породами старооскольского горизонта живецкого 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 репера «верхний известняк», по которому проводится граница пашийского и тиманского горизонтов, кривая потенциала самопроизвольной поляризации нанесена на схеме сплошной линией. 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  $D_{1a}$  и  $D_{1b}$ , в то время как скважинами № 3, № 4 в этом стратиграфическом интервале терригенного девона была вскрыта зона фациального замещения продуктивных коллекторов глинистыми породами.

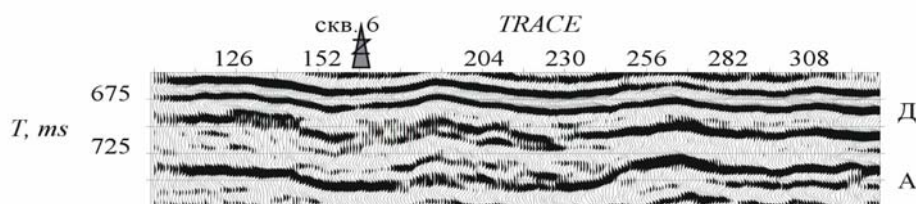


Рис. 2. Фрагмент волновой картины на срезе куба сейсмических данных по линии 610. Положительная фаза закрашена

## 2. Постановка задачи

Волновая картина во временном интервале, соответствующем девонскому терригенному комплексу, в пределах месторождения содержит не только опорные отражения *Д* и *А*, но также и некоторые промежуточные отражения. При этом наиболее характерной аномалией сейсмической записи на площади месторождения является расщепление на ряде участков положительной фазы промежуточного отражения, следующего за опорным отражением *Д*. В результате на срезах куба сейсмических данных наблюдается возникновение промежуточной отрицательной фазы записи (рис. 2).

Сопоставление данных геофизических исследований скважин по площади месторождения и сейсмических данных позволяет предположить, что данная аномалия записи характерна для зон развития песчаных коллекторов в верхней части разреза пашийского горизонта.

Целью исследований, методика и результаты которых изложены в данной статье, было доказательство возможности использования указанной выше аномалии сейсмической записи при решении задачи доразведки исследуемого месторождения нефти. С целью проверки выдвинутой гипотезы было принято решение о совместном проведении качественного сеймостратиграфического анализа и компьютерного моделирования по линии 610 куба сейсмических данных.

## 3. Методика исследований

**3.1. Программное обеспечение.** Для расчета синтетических волновых полей 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 полного волнового уравнения для заданной модели геологической среды и системы наблюдения. Данный комплекс программ 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 610 были использованы структурные карты по опорным отражающим горизонтам *В*, *У*, *Т* и *Д* осадочного чехла и результаты интерпретации данных

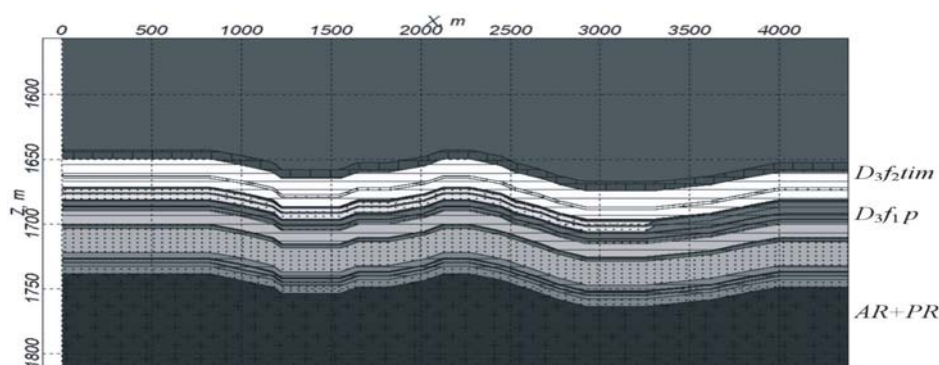


Рис. 3. Фрагмент сейсмогеологической модели среды по линии 610

радиоактивного каротажа скважины № 6, расположенной на линии 610. Длина синтетического сейсмического профиля соответствовала длине линии 610 и была равна 12275 м. При построении модели область распространения песчаных пластов в верхней части разреза пашийского горизонта задавалась от начала синтетического профиля до точки с горизонтальной координатой 3250 м, после которой происходит резкое замещение песчаников непроницаемыми глинистыми породами. Суммарная мощность указанных выше коллекторов в скважине № 6 составляет 7 м (рис. 3). Линия приведения при расчетах была принята равной +200 м, 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 *B*, *V*, *T* и *D* строилась толстослоистая верхняя составляющая модели, в дальнейшем по данным радиоактивного каротажа скважины № 6 проводилось построение тонкослоистой составляющей модели в интервале девонского терригенного комплекса. 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 среды со скоростными характеристиками приведена в табл. 1.

**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 610 проводился во временном окне от 0 до 750 мс, нижняя граница окна анализа соответствует среднему времени регистрации опорного отражения *A* от

Табл. 1

Параметры тонкослоистой составляющей модели среды

Ярус	Горизонт	Литология, наименование слоя	Скорость продольных волн, м/с
франский	тиманский	известняк «аяксы»	5550
		глина	2500
		алевролит	2500
		глина	2500
		«верхний известняк»	6670
	пашийский	глина	5000
		песчаник $D_1 a$	3850
		глина	5000
		песчаник $D_1 b$	3850
		глина	5000
		алевролит	4760
		глина	5000
		алевролит	5000
		глина	4760
		песчаник	4000
живетский	старооскольский	глина	3570
		алевролит	5260
		глина	5000
		песчаник	3850
		глина	5000
		«средний известняк»	6670
		глина	4550
		алевролит	4550
		глина	4550
алевролит	4550		

от кровли кристаллического фундамента по линии 610. В качестве пиковой частоты модельного источника задавалась средняя частота, полученная при анализе реальных данных. По линии 610 пиковая 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 [3, с. 164–166]. 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.

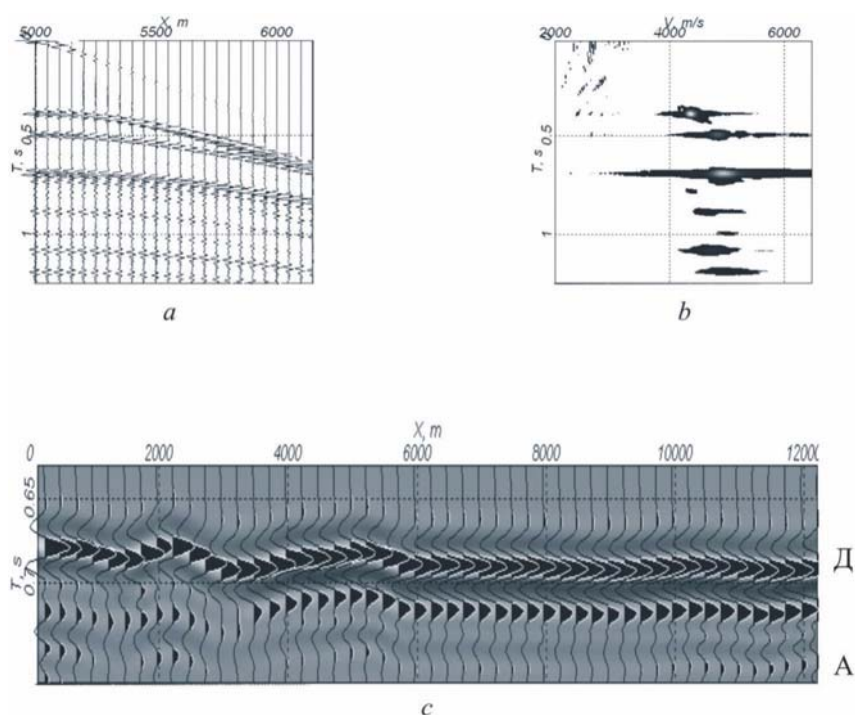


Рис. 4. Этапы графа обработки синтетических данных: *a* – сортировка трасс по ОГТ, *b* – получение вертикальных спектров скорости ОГТ, *c* – суммирование и миграционное преобразование временного разреза по алгоритму Кирхгофа

**3.4. Обработка сейсмических данных.** Обработка синтетических данных включала в себя сортировку трасс по сейсмограммам общей глубинной точки (ОГТ), получение и интерпретацию скоростных спектров, выбор скоростных законов, суммирование и миграционное преобразование по алгоритму Кирхгофа (рис. 4).

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, с. 155–157].

#### 4. Результаты работ

Качественный анализ структуры волнового поля в интервале девонского терригенного сейсмостратиграфического комплекса по линии 610 позволил отметить определенную особенность записи внутренних отражений. На интервале линии 610 от трассы 100 до трассы 230 положительная фаза, следующая за опорным отражением *Д*, расклинивается с образованием промежуточной отрицательной фазы. На срезе куба сейсмических данных на этом участке прослеживается клиноформа, ограниченная двумя положительными фазами записи.

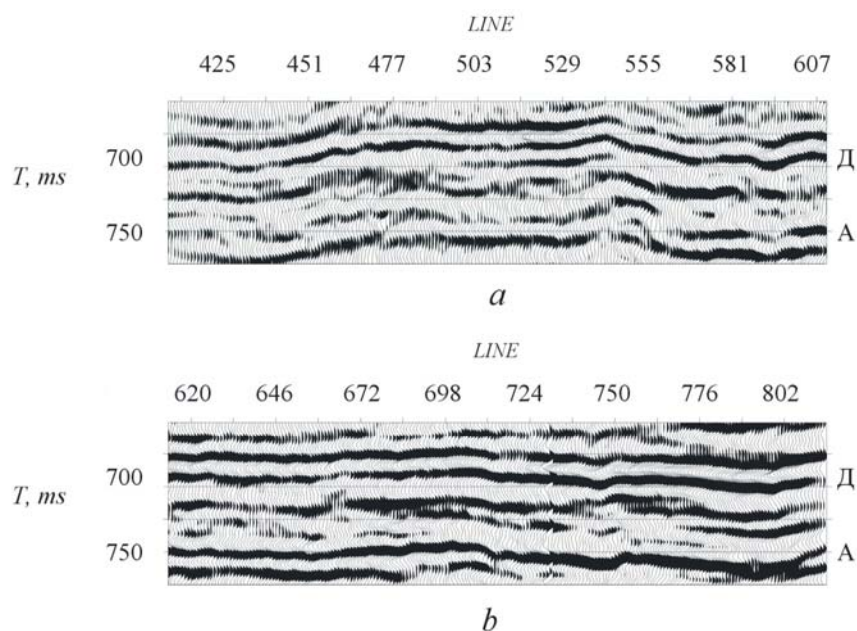


Рис. 5. Фрагменты среза куба сейсмической информации по трассе 430 во временном интервале терригенного девона: *a* – интервал от линии 410 до линии 610, *b* – интервал от линии 615 до линии 814

В пределах этого интервала на линии 610, как было указано выше, была пробурена скважина, вскрывшая продуктивные коллектора в пашийских отложениях (рис. 2). Результаты качественного анализа волнового поля с учетом времени, на котором прослеживается динамическая аномалия записи, позволили сделать предположение о соответствии участка с клиноформной записью промежуточного отражения зоне развития песчаных коллекторов в верхней части пашийского горизонта. Для проверки данной гипотезы в программе *Tesseral-2d* была построена сейсмогеологическая модель по линии 610 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 интервале профиля, где было задано развитие пашийских песчаных коллекторов, отмечается расклинивание положительной фазы, следующей за опорным отражающим горизонтом *Д* (рис. 4). Таким образом, на основании полученных данных полностью подтверждается выдвинутая на этапе качественного сеймостратиграфического 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 внутренней структуре отражений от участков опесчанивания.

Полученные в результате количественных расчетов данные об особенностях отражения в сейсмическом волновом поле пластов-коллекторов паший-

ского возраста имеют важное значение и могут быть использованы при доразведке месторождения. Так, например, анализируя особенности сейсмофациальной структуры девонского терригенного комплекса по трассе 430, можно отметить, что положительная фаза, следующая за отражением *D*, на участке от линии 455 до линии 545 также расклинивается с образованием промежуточной отрицательной фазы (рис. 5, *a*). С учетом расчетов в комплексе программ *Tesseral-2d* имеется высокая вероятность, что постановка разведочного бурения на терригенный девон в этой части площади даст положительные результаты. На этой же трассе 430 по результатам качественного анализа сейсмического волнового поля представляет поисковый интерес клиноформный объект в терригенном девоне на интервале от линии 680 до линии 814 (рис. 5, *b*).

Необходимо отметить, что совместное применение методов качественной и количественной сейсмостратиграфии позволило установить геологическую информативность промежуточных отражений в девонском терригенном комплексе. Это обстоятельство позволяет экстраполировать установленные на данном месторождении закономерности на прилегающие площади и подтверждает эффективность совместного применения качественного анализа волновых полей и сейсмического моделирования.

### Заключение

Таким образом, в результате проделанной работы можно сделать 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 *D* зонам развития песчаных коллекторов в верхней части 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.

### Summary

*D.V. Gogol.* Seismic stratigraphy methods at study of Devon sections in eastern part of South-Tatar dome.

Seismic stratigraphy is a powerful tool for hydrocarbon prospecting. In the article has been shown, that seismic stratigraphy methods may be useful in conditions of South-Tatar dome Devonian terrigenous sections. Both qualitative and quantitative methods are described.

### Литература

1. *Корягин В.В.* Стратиграфическая интерпретация данных сейсморазведки на основе итеративного моделирования // *Геофизика*. – 1999. – № 4. – С. 15–20.
2. *Шерифф Р.Е., Грегори А.П., Вейл П.Р., Митчем Р.М. мл. и др.* Сейсмическая стратиграфия. – М.: Мир, 1982. – 846 с.



3. *Шнеерсон М.Б., Потапов О.А., Гродзенский В.А. и др.* Вибрационная сейсморазведка. – М.: Недра, 1990. – 240 с.
4. *Хаттон Л., Уэрдингтон М., Мейкин Дж.* Обработка сейсмических данных: теория и практика. – М.: Мир, 1989. – 216 с.

Поступила в редакцию  
05.05.06

---

**Гоголь Дмитрий Витальевич** – аспирант кафедры геофизики Казанского государственного университета.

E-mail: [dmitrij.gogol@rambler.ru](mailto:dmitrij.gogol@rambler.ru)