

УДК 550.34.013.4

**ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ В ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ  
МАЛОГЛУБИННОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ  
ПРИ ДЕТАЛИЗАЦИИ СТРОЕНИЯ ЗАЛЕЖЕЙ СВН**

*Р.Н. Ситдиков, А.В. Степанов*

**Аннотация**

Математическое моделирование играет большую роль в понимании особенностей волнового поля и является, по мнению авторов, одним из важнейших направлений любых сейсмических исследований. В статье изложена методика, включающая в себя этапы сбора геологической информации, создания и подготовки сейсмогеологической модели, а также некоторые проблемы и новые способы их решения для верхней части разреза Республики Татарстан; рассмотрены процесс построения 3D-модели структуры битумной залежи в пакете программ ArcGIS, а также непосредственно само моделирование, которое выполнялось в программном комплексе Tesserat. Объектами исследований являлись Ашальчинская залежь одноименного месторождения и Улановская залежь Ново-Чегодайского месторождения. Территориально они расположены на западном склоне Южного купола Татарского свода. В результате исследований было установлено, что битумная залежь создаёт дополнительные оси синфазности в поле отраженных волн, а также кинематические и динамические аномалии. Полученные результаты позволили решить задачу стратификации отражающих горизонтов в толще верхнепермских отложений, включающей пласты-коллекторы песчаной пачки, насыщенные сверхвязкой нефтью.

**Ключевые слова:** сверхвязкая нефть, малоглубинная сейсморазведка, цифровая обработка, математическое моделирование, сейсмогеологическая модель, геоинформационные системы.

**Введение**

Промышленные месторождения природных битумов на территории Республики Татарстан (РТ) связаны с определенными литолого-фациальными зонами верхнепермских отложений и встречаются на глубинах от 10–20 до 250 м [1], то есть они размещены в верхней части разреза (ВЧР). Физической основой применения сейсморазведки на природные битумы являются относительно низкие значения скорости распространения упругих волн в битумоносных породах [2]. Целью сейсмических исследований являлась экспериментальная обработка и интерпретация полевых сейсмических материалов, полученных в 2013–2014 гг. в ходе геофизических исследований на залежах сверхвязких нефтей (СВН). Поставленная цель определила следующие задачи исследований: разработку методики математического моделирования и создание сейсмогеологических моделей объектов исследований для ВЧР. В процессе обработки двух совокупностей сейсмических материалов методика совершенствовалась в ходе решения

различных проблем, возникающих на разных стадиях работ. В целом результат моделирования зависит от степени приближения сейсмогеологической модели к реальной геологической среде. Это достигается за счёт тщательной подготовки исходных данных для модели и последующей её корректировки на основании результата обработки полевых сейсмических материалов при необходимости. Основы методики были разработаны в ходе обработки материалов по Улановской залежи Ново-Чегодайского месторождения сверхвязкой нефти. Именно поэтому в настоящей статье будет в основном изложена методика по обработке именно этого материала. Методика, применявшаяся в ходе решения задач по Ашальчинскому месторождению, имеет несколько другой подход в создании сейсмогеологической модели. На этом этапе имеются существенные различия, так как в результате было выявлено несоответствие скоростей в модели с реальными. Методические приёмы коррекции модели будут подробно изложены ниже.

### 1. Сбор и анализ исходных данных

При построении сейсмогеологической модели Улановской залежи были использованы материалы скважин 1346 и 1342 (рис. 1).

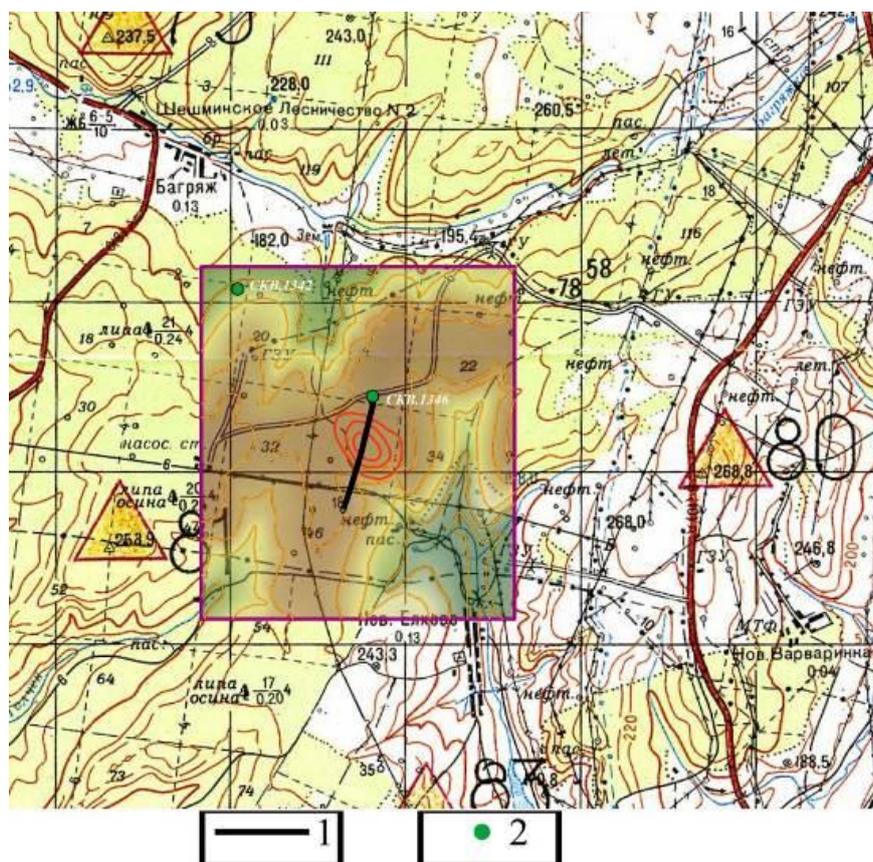


Рис. 1. Улановская залежь: 1 – положение сейсмического профиля, 2 – скважины

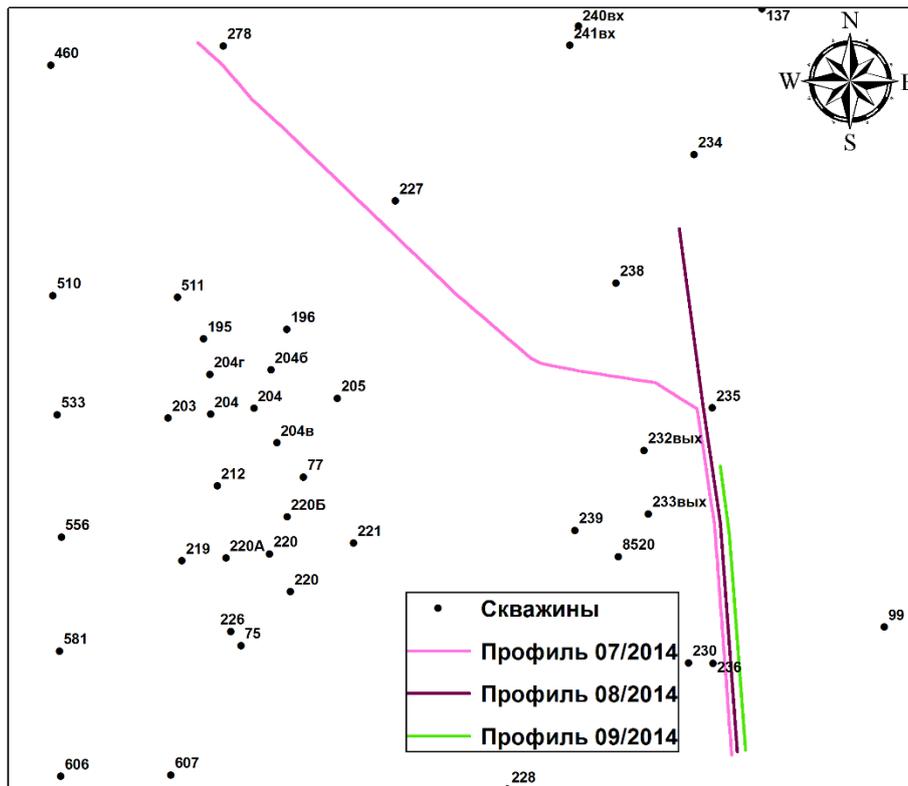


Рис. 2. Схема расположения обработанных сейсмических профилей относительно скважин на территории ЦДСВН

Первая скважина, расположенная на удалении 200÷300 м от начала сейсмического профиля, являлась опорной при построении модели геологической среды. Кроме того, была учтена геолого-геофизическая информация по скв. 1342, которая находится на удалении 2 км от профиля. Она вскрыла битуминозные отложения верхнеуфимского возраста, имелось описание керна. Исходными данными для построения математической модели геологической среды являлись данные гамма-каротажа (ГК) по этим двум скважинам [2].

Для второго объекта – Ашальчинской залежи – были построены две модели, так как она разделена неогеновым врезом на два участка. Для модели первого участка, в пределах которой расположен цех добычи сверхвязких нефтей (ЦДСВН), опорными были скважины под следующими номерами: 278, 227, 235 и 236. Схематическое расположение сейсмических профилей относительно перечисленных скважин представлено на рис. 2. Для построения модели по второму участку, расположенному к юго-востоку от первого, использовались каротажные данные скважин 15060/2, 15169, 15212/2, 15064/1, 15212/1, 15062/1 (рис. 3).

По каждой скважине были отбиты границы пластов и их абсолютные отметки относительно уровня моря. Отбивка пластов осуществлялась в основном по данным ГК. Используя las-файлы каротажных данных, мы вычислили среднее значение ГК в мкр/ч для каждого пласта, затем от них был осуществлен переход к пластовым скоростям на основе уравнения регрессии, которые были

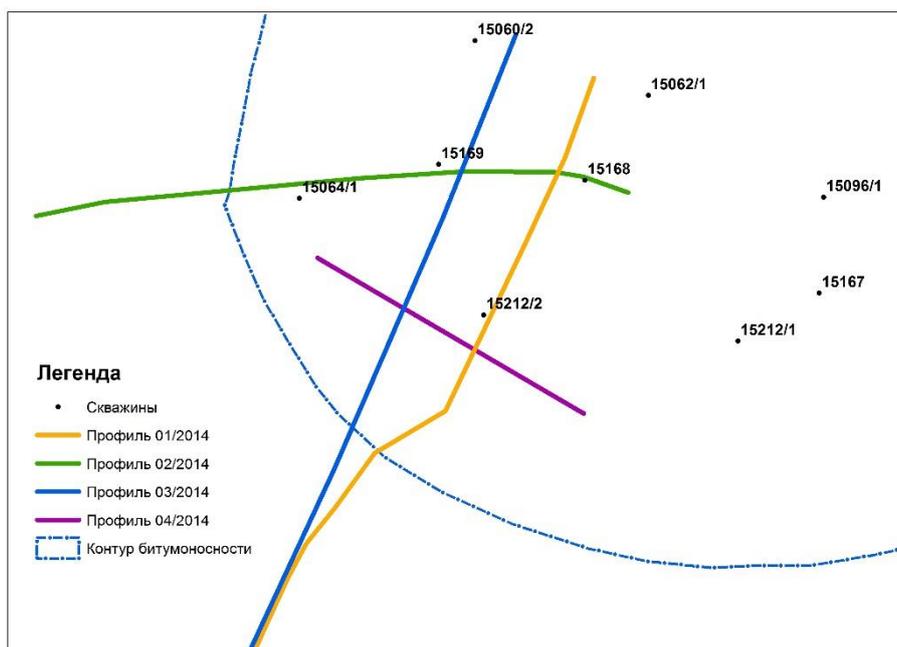


Рис. 3. Схема расположения обработанных сейсмических профилей относительно скважин на территории второго участка Ашальчинской залежи

получены А.В. Степановым для прогноза интервальных скоростей [3]. Эти уравнения применимы для верхней части разреза РТ. Другие необходимые при моделировании сейсмические параметры были рассчитаны относительно пластовых скоростей по соответствующим корреляционным связям. В модели Улановской залежи было введено битумонасыщение песчаных коллекторов верхнеуфимского возраста в форме куполообразной структуры (раздвиг песчаной пачки) длиной 600 м вдоль профиля. При этом в четырёх пластах скорости были снижены на 25% [2] (по данным лабораторных исследований установлено уменьшение скоростей до 30% в битумонасыщенных породах [4]).

Для уточнения модели Улановской залежи были использованы структурные карты и геологические профили, расположенные в пределах объекта: структурная карта по кровле шешминского горизонта уфимского яруса, карта изопакит песчаной (ашальчинской) пачки шешминского горизонта уфимского яруса. Один геологический профиль проходит через Улановскую и Варваркинскую залежи, остальные проходят в крест.

Процесс построения модели состоял из последовательности этапов, которые будут изложены ниже.

## 2. Построение сейсмогеологической модели

В программе ArcMap, входящей в программный пакет ArcGIS for Desktop (<http://desktop.arcgis.com/ru/>), была произведена оцифровка всех исходных данных, в частности структурных карт и геологических профилей, предварительно была осуществлена географическая привязка этих материалов для корректного отображения и совмещения их с геологическими объектами на карте. В дальнейшем

в этот документ карты ArcMap будут добавлены дополнительные данные, относящиеся к этому проекту. На основе собранной оцифрованной информации была составлена таблица, содержащая абсолютную глубину залегания кровли пластов в определенной скважине. Связав таблицу глубин кровли пластов в скважинах и непосредственно сам векторизованный слой скважин, мы получили возможность построить поверхность кровли пластов с помощью трехмерной сплайн-интерполяции. Тем самым были определены положения в трехмерном пространстве поверхностей сакмарского яруса ( $P_1s$ ), кровельных частей нижнешешминского ( $P_{2ss_1}$ ) и верхнешешминского ( $P_{2ss_2}$ ) горизонтов уфимского яруса, нижней ( $P_{2bt_1}$ ) и верхней ( $P_{2bt_2}$ ) байтуганской толщи нижнеказанского подъяруса и т. д.

Для каждой границы пласта необходимо было построить поверхность с помощью интерполяции между скважинами. Так как количество пластов было большим, интерполяция была частично автоматизирована и выполнялась в пакетном режиме в определенном порядке, алгоритм которого был построен в специальном приложении ModelBuilder комплекса ArcGIS (рис. 4).

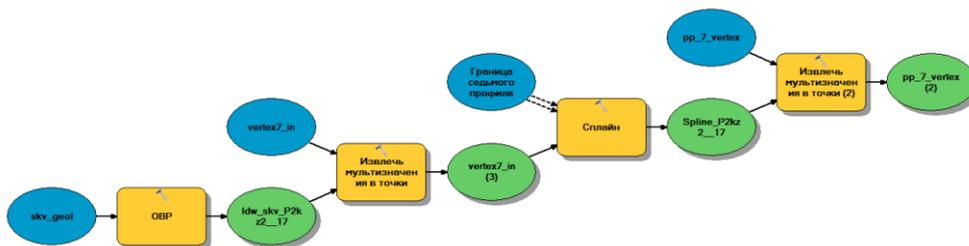


Рис. 4. Алгоритм интерполяции для пакетного режима, построенный в ModelBuilder

ModelBuilder – это приложение, используемое для создания, редактирования и управления моделями. Модели в среде ArcGIS – это рабочие процессы, которые соединены друг с другом в последовательности инструментов геообработки. Информация с выхода одного инструмента подаётся на вход другого. ModelBuilder можно также рассматривать как визуальный язык программирования для построения рабочих потоков. ModelBuilder приносит большую пользу при создании и выполнении простых рабочих процессов, позволяя создавать и совместно использовать конкретные модели в качестве инструмента [5].

На рис. 5 в качестве примера показана 3D-модель положения пластов в пространстве, построенная для облегчения восприятия модели и визуализации. Создание трехмерной сейсмогеологической модели осуществлялось в программе ArcScene того же программного пакета ArcGIS for Desktop.

### 3. Импорт и подготовка модели

Следующим шагом была разработка способа импорта рассчитанной сейсмогеологической модели в программу математического моделирования Tesseral (TESSERAL Technologies, Канада). Разработанный способ позволяет импортировать в неё модель в виде электронной таблицы в текстовом формате. Она должна описывать все представленные в виде замкнутых полигонов слои, входящие в модель. Полигон образуется при замыкании линии на саму себя, а её положение

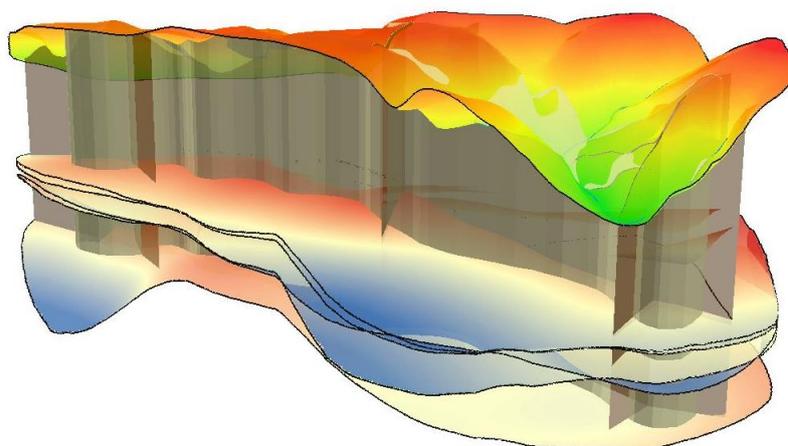


Рис. 5. Трехмерная сейсмогеологическая модель Улановской залежи

в пространстве модели определяется координатами вертексов – формообразующими узлами. Электронная таблица создается в программе Microsoft Excel, она должна быть устроена следующим образом: в каждой строке прописываются условная координата каждого вертекса полигона и характеристики слоя, такие как скорость пробега продольных и поперечных волн в слое, его плотность, причём параметры для смежных границ полигонов прописываются как для подошвы вышележающего слоя, так и для кровли нижележащего слоя.

Координаты полигонов геологической модели были перенесены в таблицу из поверхностей границ слоёв, которые представлены в 3D-модели проекта в ArcMap. Эти поверхности представляют собой растровый тип данных: то есть в каждом пикселе растра существует значение, в данном случае это абсолютная отметка положения границы. Сейсмический профиль – это совокупность точек: координат пунктов возбуждения (ПВ) и пунктов приема (ПП). Таким образом, в каждый пикет были извлечены абсолютные отметки границ слоёв. Все эти значения были записаны в атрибутивную таблицу пикетов. Теперь каждая строка таблицы, которая соответствует одному пикету, содержит значения отметок границ слоёв. Далее эта таблица была отредактирована в соответствии с требованиями программы Tesserall к импортируемым таблицам.

Для описания модели, кроме условных координат полигонов, как уже упоминалось выше, необходимы и характеристики слоёв: скорость продольных и поперечных волн, плотность. Они были рассчитаны из значений пластовых скоростей по соответствующим формулам. Затем эти параметры также были внесены в электронную таблицу. На этом подготовка к импорту сейсмогеологической модели в Tesserall была почти закончена. Последним шагом было конвертирование электронной таблицы в итоговый текстовый файл. Основным этапом включал в себя моделирование в программном комплексе Tesserall.

#### 4. Этап моделирования

Tesserall – это специализированный коммерческий программный пакет моделирования полного сейсмического (акустического) поля с встроенным графическим интерфейсом, реализованный на персональном компьютере. Он позволяет

задавать различные системы сейсмических наблюдений, проводить построение числовых моделей сложных сейсмогеологических разрезов и рассчитывать распространение колебаний в неоднородной среде.

Импортировав геометрию модели в программу, нам оставалось лишь описать её структуру, включающую в себя следующие параметры: разрез, источник, систему наблюдения и горизонты. В данном случае нас интересовали лишь настройки параметров источника и системы наблюдения. Описывая систему наблюдения, мы пытались максимально приблизить её к реальным параметрам сейсмического профиля.

Источник в Tesserai представлен в виде обычного точечного объекта. Важнейший параметр источника – его преобладающая частота. Этот пункт достаточно важен, так как от частоты зависит временная разрешенность записи – возможность раздельного обнаружения и оценки сигналов, приходящих в близкие моменты времени. В реальных условиях, даже весьма благоприятных, можно рассчитывать на раздельное обнаружение отраженных волн, которые приходят с разницей нормальных времен не менее половины видимого периода колебаний. Поскольку эта величина соответствует двойному времени пробега, мощность пласта, выделяемого по отражениям от его кровли и подошвы, составляет не менее четверти видимой длины волны наблюдаемых колебаний.

В программе Tesserai предусмотрено несколько способов моделирования и существует возможность установки дополнительных параметров моделирования. Первоначально выполнялось моделирование на основе акустического волнового уравнения. Оно позволяет оперативно определить 2D-волновые эффекты распространения сейсмической энергии в реальных геологических условиях. Этот вид моделирования игнорирует неупругость твердой среды, что является случаем идеальной жидкости, в которой скорость волн сдвига равна нулю. Однако этот подход все же полезен даже для моделирования твердых сред в ситуации, когда большая часть сейсмической энергии распространяется по нормали к отражающим границам [6]. Моделирование на основе акустического волнового уравнения использует в качестве свойств среды только скорость продольных волн и плотность. Благодаря акустическому моделированию мы оценили картину волнового поля, характер отражений. Были также изучены физические эффекты, сопутствующие битуминозной залежи. Моделирование было проведено в трёх вариантах с частотами источника, равными 45, 55 и 75 Гц соответственно. Проанализировав волновые картины при разных параметрах источника возбуждения, было решено проводить эластическое моделирование с частотой источника, равной 67 Гц.

Моделирование на основе волнового уравнения в данном программном пакете Tesserai является самым полным инструментом исследования, создающим наиболее близкую аппроксимацию к реальным условиям твердой среды, включая эффекты обмена и поперечной волны. Этот вид моделирования учитывает не только распределение в среде скорости волн сжатия и плотности, но и соответствующие скорости волн сдвига. При использовании такого типа моделирования была включена опция “Suppress Source SV”, которая позволяет избежать появления сильных поверхностных волн, когда источник расположен вблизи дневной поверхности [6].

### 5. Результаты моделирования Улановской залежи

В результате моделирования первого объекта было получено 105 сейсмограмм с длиной записи 500 мс, которые в дальнейшем объединялись в одну, содержащую в себе все исходные. Это слияние необходимо для просмотра, для дальнейшей обработки или для конвертирования в другие форматы данных. Затем объединённая сейсмограмма была конвертирована в файл формата SEG-Y для переноса полученных материалов в программный пакет Focus 5.4.

Для построенной сейсмогеологической модели были рассчитаны синтетические сейсмограммы ОПВ с параметрами системы наблюдения, соответствующими проведенной сейсмической съемке. На этих сейсмограммах энергетически преобладают преломлённые и поверхностные волны, распространяющиеся в приповерхностной части геологического разреза. Битумонасыщение коллекторов проявляет себя в волновом поле появлением дополнительных осей синфазности средней интенсивности в интервале времён  $0.19 \div 0.25$  с. После фильтрации исходных сейсмограмм по кажущимся скоростям на волновом поле становится доминирующей энергия отражённых волн (рис. 6).

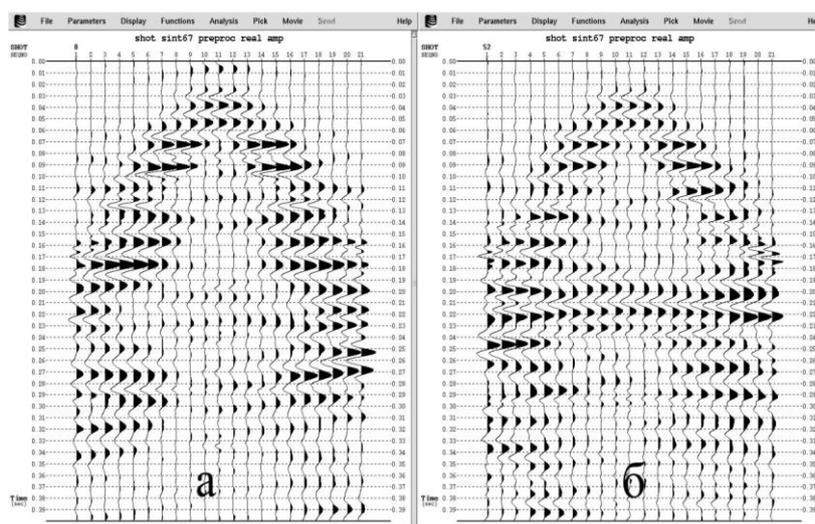


Рис. 6. Характер поля отражённых волн на синтетических сейсмограммах ОПВ (вариант эластического моделирования): а) волновое поле вне залежи битумов; б) волновое поле в области залежи

Отметим также, что отражённые волны имеют очень пологие оси синфазности, что связано с соотношением длины активной расстановки на профиле, глубиной до отражающих границ и скоростью в геологической среде. Такое соотношение кривизны годографов отражённых, преломлённых и поверхностных волн является благоприятным фактором для их разделения. Отражения, образованные от битумной залежи имеют относительно повышенную энергию.

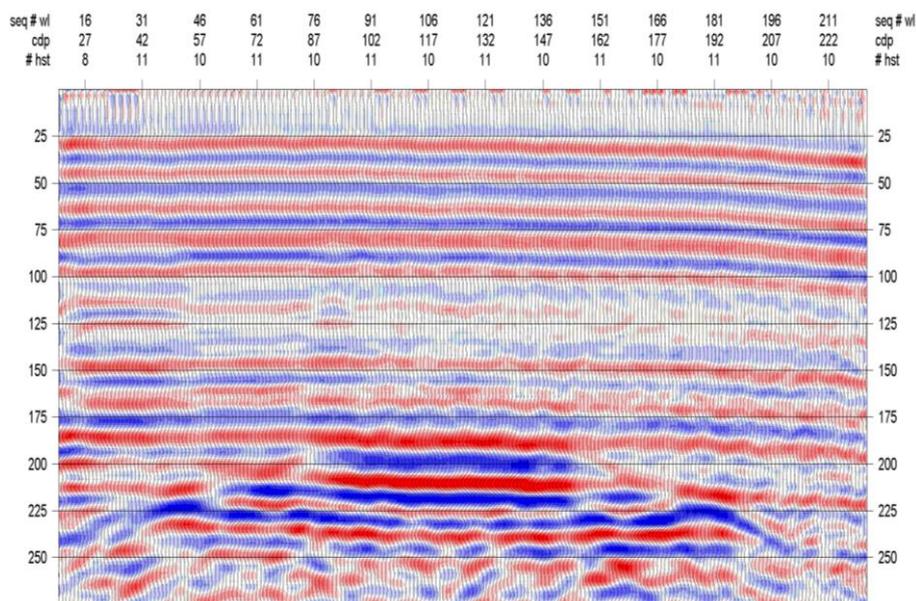


Рис. 7. Поле отражённых волн на синтетическом временном разрезе ОГТ для модели с битумной залежью

На рис. 7 представлен временной разрез ОГТ, полученный в результате обработки синтетических сейсмограмм с сохранением относительного уровня амплитуд.

### 6. Корректировка модели Ашальчинской залежи

Важнейшим вопросом проводившихся нами исследований являлась стратиграфическая привязка получаемых волновых полей. Однако, как показал сбор геолого-геофизических материалов по Ашальчинскому месторождению, их полнота оставляет желать лучшего. В оценочных и контрольно-измерительных скважинах фактически не проводилась скважинная сейморазведка с помощью акустического каротажа и вертикального сейсмического профилирования. Соответственно, нет прямых измерений скоростей с применением скважинной сейморазведки, поэтому решать проблему привязки можно только способом синтетических сейсмограмм. Из методов геофизических исследований скважин в ВЧР на территории РТ проводятся ГК и нейтронный ГК (НГК). Оказалось, что петрофизических зависимостей для ВЧР между измеряемыми параметрами в скважине и геолого-промысловыми параметрами в РТ нет. И нельзя перейти от показаний НГК к коэффициенту пористости стандартным подходом.

Имеется уравнение регрессии между показаниями ГК и скоростью для продольных волн [3]. Его тестирование показало, что для территории Ашальчинского месторождения оно даёт завышенные значения скоростей. Это связано с тем, что регрессионная связь устанавливалась для территорий, прилегающих к региональному сейсмическому профилю «Татсейс». Поэтому возникла проблема со стратиграфической привязкой и была поставлена задача решения этого вопроса исходя из имеющихся геолого-геофизической информации и регрессионной зависимости. Фактически необходимо было внести коррекцию в значения интервальной

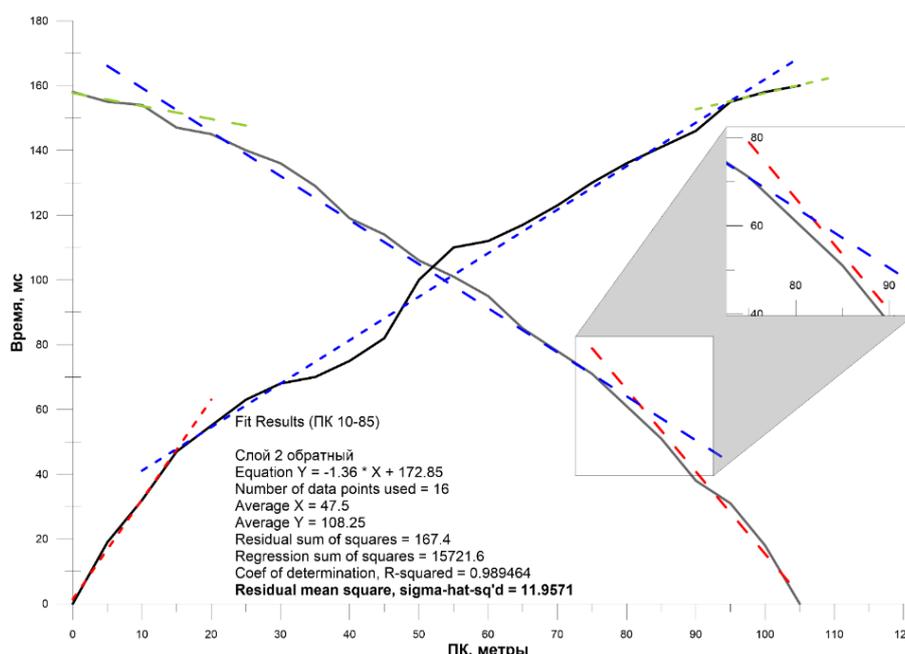


Рис. 8. Первый вариант аппроксимации (ПК 10-85). RMS равен 11.9

скорости, полученные через имеющуюся регрессионную связь. Для этого применялся следующий методический приём.

Была произведена пикировка первых вступлений по нескольким сейсмограммам по профилям 01/2014, 04/2014 и 08/2014. Времена прихода прямой и головных волн заносились в таблицу Excel в формате пикет – время. Затем эти точки были отображены в виде графика, по которым строился наблюденный годограф первых вступлений. На нем необходимо было выделить области прослеживания прямой и преломлённых волн в виде сглаженных линейных отрезков. Для этого производилась аппроксимация по точкам в пределах, ограниченных двумя изломами.

Важным моментом является выбор интервала аппроксимации в пределах одного преломляющего слоя. Изломы по облаку точек при слабоконтрастных слоях (что характерно для ВЧР) не всегда чётко выделяются и в некоторых ситуациях необходимо вручную перебирать интервал расчёта аппроксимирующей функции. Критерием оптимальной аппроксимации являлось среднее квадратичное отклонение (RMS – residual mean square), оно и другие статистические параметры можно считать для каждой функции. На следующих рисунках представлены примеры перебора интервалов и статистические параметры для каждого случая для профиля 04/2014. На рис. 8 изображена статистика для интервала от пикета 10 до 85 на примере второго преломляющего слоя, на рис. 9 – для интервала 15–80 для того же слоя.

Исходя из статистических параметров, представленных на рисунках, будет использован второй вариант аппроксимации, так как значение RMS для этого случая значительно меньше. Такие расчёты проводились во всех случаях, где возникали сомнения относительно точности аппроксимации. В результате были получены окончательные сглаженные годографы по профилям, например для 04/2014 (рис. 10).

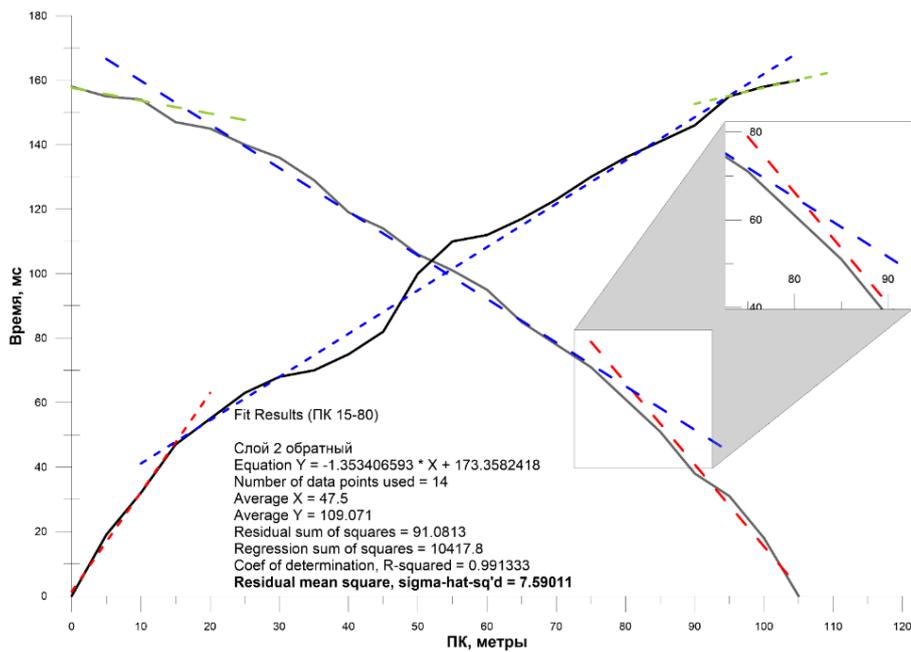


Рис. 9. Второй вариант аппроксимации (ПК 15-80). RMS равен 7.59

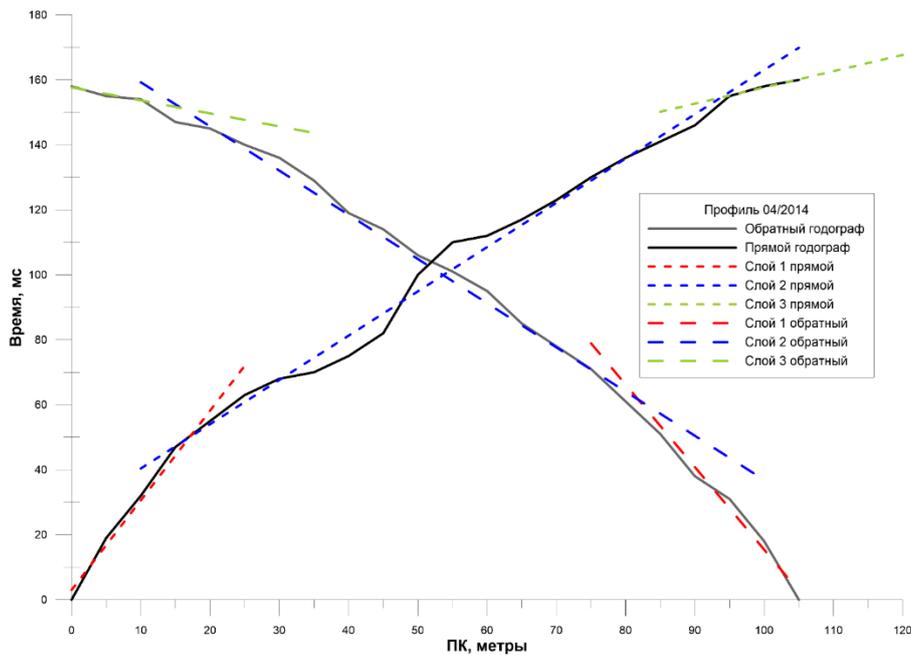


Рис. 10. Наблюдённый встречный годограф первых вступлений и его сглаженный вариант по сейсмическому профилю 04/2014

После построения годографов стало возможным вычислить скорости и мощности слоёв, представленных на графиках, по известным формулам [7]. Для облегчения задачи все расчётные формулы были запрограммированы в Excel. Таким образом, счёт осуществлялся путём ввода начальных данных в таблицу.

Начальными данными являлись коэффициенты линейной аппроксимирующей функции вида  $y = kx + b$ . Рассчитав скорости и мощности пластов по годографам и используя весовые коэффициенты, были скорректированы скорости в модели, в качестве веса были использованы значения мощностей пластов. Точки излома на годографах соответствуют сейсмическим границам, которые с учётом скважинных данных были привязаны к стратиграфическим границам: первый излом – граница между четвертичными отложениями и казанским ярусом; второй – граница между верхнеказанским и нижнеказанским подъярусами; третий – граница между казанским и уфимским ярусами. Измененные значения скоростей были заново заданы полигонам слоёв в модели и её расчёт проводился повторно.

### Выводы

Для первой модели в результате анализа полученных при полноволновом эластическом моделировании материалов можно сделать следующие выводы, имеющие существенное значение при последующей обработке и интерпретации реальных полевых материалов [2].

1. В ВЧР, включающей отложения казанского и вернеуфимского возраста, наблюдается образование отражённых волн, в том числе и от целевого объекта – верхнеуфимских отложений.

2. В волновом поле синтетических сейсмограмм доминируют преломлённые и псевдорелеевские волны.

3. Битумная залежь при достаточной мощности создаёт дополнительные оси синфазности в поле отражённых волн, образующиеся от верхнеуфимских отложений, наблюдаются также динамические и кинематические аномалии.

4. Для изучения внутренней структуры верхнеуфимских отложений предпочтительно использовать сейсмический источник с преобладающей частотой от 65 Гц.

Основной задачей, поставленной перед моделированием Ашальчинской залежи, являлась стратификация отражающих границ. В результате моделирования и анализа скважинных данных были прокоррелированы отражающие границы и привязаны к геологическим границам. Ниже перечислены основные отражающие горизонты для первого участка Ашальчинской залежи, в пределах которого расположен ЦДСВН:

- 1) 0.082 с – граница между нижнеказанским и верхнеказанским подъярусами;
- 2) 0.130 с – кровля среднеспириферового известняка;
- 3) 0.145 с – кровля песчаной пачки шешминского горизонта;
- 4) 0.180 с – подошва песчаной пачки шешминского горизонта.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 02.G25.31.0029).

### Литература

1. Успенский Б.В., Валеева И.Ф. Геология месторождений природных битумов Республики Татарстан. – Казань: Изд-во ООО «ПФ «Гарт», 2008. – 349 с.

2. Степанов А.В., Ситдииков Р.Н. О возможности использования малоглубинной сейсморазведки при детализации строения залежей сверхвязкой нефти на этапе их разведки в условиях западного склона Южно-Татарского свода // Нефтяное хозяйство. – 2014. – № 10. – С. 40–43.
3. Степанов А.В. О статистическом прогнозировании скоростей в ВЧР по данным ГИС вдоль широтного сейсмического регионального профиля Татарстана // Вопросы геолого-геофизических исследований Татарстана и сопредельных областей: Сб. науч. тр. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1991. – С. 87–98.
4. Тиханов П.М., Бариев И.А. Битум и озокерит // Геофизические методы поисков и разведки неметаллических полезных ископаемых. – М.: Недра, 1984. – С. 63–68.
5. Руководство пользователя ArcGIS. Copyright © 1995–2013 Esri. – URL: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.2/>.
6. Tesserall 2D User's Manual. – URL: <http://tesserall-geo.com/documentation/en/workstation/UserManual2D.pdf>
7. Епинатьева А.М., Голошубин Г.М., Литвин А.М. и др. Метод преломленных волн. – М.: Недра, 1990. – 297 с.

Поступила в редакцию  
30.07.15

---

**Ситдииков Рузиль Нургалиевич** – аспирант кафедры геофизики и геоинформационных технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: [RNSitdikov@kpfu.ru](mailto:RNSitdikov@kpfu.ru)

**Степанов Андрей Владимирович** – кандидат технических наук, доцент кафедры геофизики и геоинформационных технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия.

E-mail: [Andrey.Stepanov@kpfu.ru](mailto:Andrey.Stepanov@kpfu.ru)

\*\*\*

## THE USE OF MATHEMATICAL MODELING IN SHALLOW SEISMIC DATA PROCESSING FOR DETALIZATION OF THE HEAVY OIL RESERVOIR STRUCTURE

*R.N. Sitdikov, A.V. Stepanov*

### Abstract

Mathematical modeling plays an important role in understanding characteristics of the seismic wave field. In our opinion, it is one of the essential stages in any seismic survey. The paper sets out the methodology, which includes the steps of collection of geological data, creation and preparation of a seismic geological model, as well as some problems and new approaches to solving them for the upper part of the geological section of the Republic of Tatarstan. The process of building a 3D model of the structure of bitumen deposits using the ArcGIS software package and the modeling itself, which is performed using the Tesserall software package, are considered. The objects of study are the Ashalchinskoye deposit of the eponymous oil field and the Ulanovskoye deposit of the Novo-Chegodayskoe oil field. They are located on the western slope of the Southern dome of the Tatar arch. As a result, it is found that the bitumen deposit creates additional seismic events in the reflected field, as well as kinematic and dynamic anomalies. The results obtained allow to solve the problem of stratification of the reflecting horizons in the Upper Permian rock mass, which involves reservoir layers of the sand unit bearing heavy oil.

**Keywords:** heavy oil, shallow seismic survey, digital processing, mathematical modeling, seismic geological model, geoinformation systems.

---

**References**

1. Uspensky B.V., Valeeva N.F. Geology of Natural Bitumen Deposits in the Republic of Tatarstan. Kazan, PF Gart, 2008. 349 p. (In Russian)
2. A.V. Stepanov, R.N. Sitdikov. The possibility of using a shallow seismic in detailing the structure of heavy oil reservoirs at the stage of exploration in conditions of the western slope of the South-Tatar arch. *Neft. Khoz.*, 2014, no. 10, pp. 40-43. (In Russian)
3. Stepanov A.V. On statistical forecasting of the near-surface velocity using GIS data along the latitudinal seismic regional profile of Tatarstan. *Voprosy geologo-geofizicheskikh issledovaniy Tatarstana i sopredel'nykh oblastei* [Problems of Geological and Geophysical Survey of Tatarstan and Neighboring Regions]. Kazan, Izd. Kazan. Univ., 1991, pp. 87-98. (In Russian)
4. Tikhanov P.M., Bariev I.A. Bitumen and fossil wax. *Geofizicheskie metody poiskov i razvedki nemetallicheskih poleznykh iskopaemykh* [Geophysical methods of Searching and Prospecting of Nonmetallic Mineral Products]. Moscow, Nedra, 1984, pp. 63–68. (In Russian)
5. User's Manual of ArcGIS. Copyright © 1995–2013 Esri. Available at: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.2/>.
6. Tesseral 2D User's Manual. Available at: <http://tesseral-geo.com/documentation/en/workstation/UserManual2D.pdf>
7. Epinat'eva A.M., Golobushin G.M., Litvin A.M., et al. Method of Refracted Waves. Moscow, Nedra, 1990. 297 p. (In Russian)

Received  
July 30, 2015

---

**Sitdikov Ruzil' Nurgalievich** – PhD Student, Department of Geophysics and Geoinformation Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: [RNSitdikov@kpfu.ru](mailto:RNSitdikov@kpfu.ru)

**Stepanov Andrey Vladimirovich** – PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Geophysics and Geoinformation Technologies, Kazan Federal University, Kazan, Russia.

E-mail: [Andrey.Stepanov@kpfu.ru](mailto:Andrey.Stepanov@kpfu.ru)