

**Артефакты эффективных скоростей, обусловленные плавающим
уровнем приведения, и способы их компенсации**

**А. В. Новокрещин*, Д. С. Ракивненко, Я. А. Игнатьева, И. В. Мусатов,
И. И. Каримов**

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, Россия

**e-mail: avnovokreschin@tnnc.rosneft.ru*

Аннотация. Выполнение обработки сейсмических данных от плавающего уровня приведения сопровождается трудностями оценки эффективных скоростей, связанными с криволинейностью самой поверхности приведения, игнорирование которых приводит к артефактам оценки эффективных скоростей. В работе представлены результаты количественного анализа искажения эффективных скоростей по модельным данным, а также предложена методика для минимизации искажающего влияния рельефа на эффективные скорости. Суть метода сводится к переводу источников и приемников в пределах одного ОГТ на локально-постоянный уровень. Данный подход был опробован на модельных данных и производственных проектах, показал существенное снижение влияния кривизны плавающего уровня на кинематические параметры, при этом отсутствует необходимость в дальнейшем как-либо изменять граф обработки.

Ключевые слова: эффективные скорости; статические поправки; уровень приведения; обработка

**Effective velocities artifacts caused by floating datum
and compensation methods**

**Aleksey V. Novokreschin*, Dmitry S. Rakivnenko, Yana A. Ignatieva,
Ilya V. Musatov, Ilfat I. Karimov**

Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen, Russia

**e-mail: avnovokreschin@tnnc.rosneft.ru*

Abstract. Seismic data processing from a floating datum is accompanied by difficulties in estimating effective velocities. These difficulties are associated with the roughness of the datum surface, which, if ignored, leads to artifacts in the estimated effective velocities. The study presents the results of a quantitative analysis of the distortion of effective velocities with model data, as well as the technique to minimize the distorting effect of the elevation on effective velocities. The essence of the method is bringing the sources and receivers within one CDP to a local constant level. This approach has been tested on modeled and real data. It showed a significant reduction in the effect of floating level roughness on kinematic parameters. At the same time, there is no need to modify the processing flow whatsoever.

Key words: effective velocities; static correction; datum plane; processing

Введение

В относительно недавнее время обработка сейсмических данных выполнялась от постоянного уровня приведения, обычно равного уровню моря. Для этого в сейсмические данные вводились априорные статические поправки, рассчитанные по разнице высоты положения источника или приемника и уровня приведения. Однако было замечено, что такой подход в обработке из-за необходимости вводить довольно большие статические поправки негативно отражался на результатах:

- менее качественная фокусировка отражений в процессе миграции данных [1] и несоответствие эффективных скоростей фактическим скоростям;
- влияние среднего значения альтитуды рельефа в пределах апертуры наблюдений [2].

С целью минимизации этих артефактов была предложена концепция обработки сейсмических данных от плавающего уровня [3]. Плавающий уровень, как правило, представляет собой рельеф поверхности наблюдения, сглаженной на базе длины расстановки. С одной стороны, плавающий уровень должен быть достаточно гладким, чтобы была возможность корреляции основных отражений по суммарному разрезу. С другой стороны, статические поправки перехода с уровня рельефа на плавающий уровень должны быть минимальными, чтобы существенно не исказить эффективные скорости и в дальнейшем не влиять на результат миграции сейсмических данных. Обширная дискуссия о важности минимальности априорных статических поправок приведена в работе [4], где в заключении говорится о том, что большие априорные статические поправки ухудшают качество сейсмических разрезов. С этим выводом можно согласиться.

Как правило, для специалистов по обработке сейсмических данных основными критериями корректности применения тех или иных процедур обработки являются степень фокусировки отраженных волн и разрешенности сейсмического разреза, оцениваемая по амплитудному спектру сигнала. В погоне за разрешенностью разреза нередко забывается о корректности и соответствии реальному геологическому разрезу тех или иных параметров. Так, например, на этапе обработки основным требованием, предъявляемым к эффективным скоростям, является степень спрямления годографа, которая напрямую влияет на разрешенность разреза. Поскольку скорости являются эффективными, степень их соответствия наблюдаемым средним скоростям геологического разреза нередко остается без должного внимания.

При переходе к плавающему уровню приведения появляются дополнительные трудности оценки эффективных скоростей, связанные с криволинейностью самой поверхности приведения, игнорирование которых приводит к артефактам оценки эффективных скоростей. Эти трудности описаны в работе [5]. Как показано в этой работе, в зависимости от искривления плавающего уровня приведения в пределах сейсмограммы общей глубинной точки (ОГТ) соответствующим образом искривляется годограф ОГТ, и это сказывается на оценке эффективной скорости. И если с задачей спрямления годографа найденная от плавающего уровня эффективная скорость вполне может справиться, то ее соответствие средней скорости до отражающего горизонта не выполняется. В этой же работе обсуждаются способы исключения влияния криволинейности поверхности плавающего уровня приведения.

Формулировка задачи

Таким образом, необходимо разработать подход оценки эффективных скоростей от плавающего уровня приведения, который позволял бы найти скорости, эффективно спрямляющие годографы ОГТ и количественно соответствующие средним скоростям до отражающего горизонта.

Математическая модель

Рассмотрим простую однородную модель среды с постоянной скоростью V_c (рис. 1). Пусть данные приведены с уровня рельефа на плавающий уровень путем ввода соответствующих статических поправок. Для корректной оценки скорости в среде необходимо данные привести на некоторый локально-постоянный уровень (ЛПУ), например на уровень значения плавающей поверхности в общей средней точке (ОСТ). Таким образом, локально-постоянный уровень будет различным для каждой точки ОГТ.

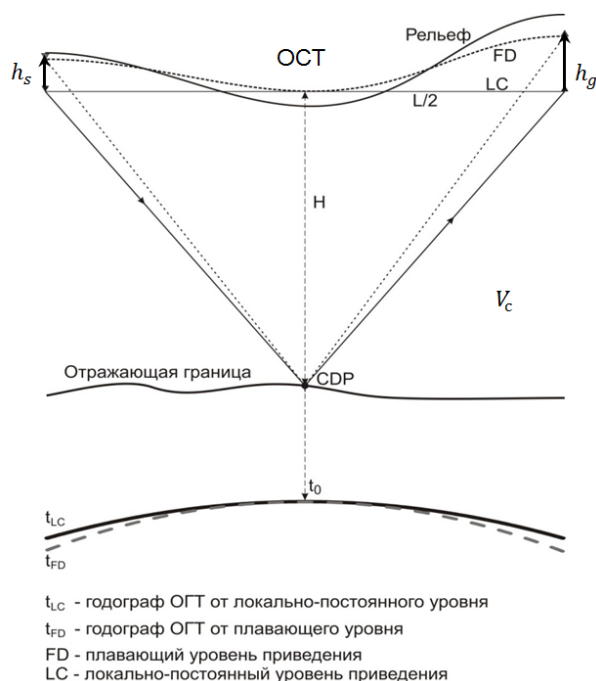


Рис. 1. График, поясняющий формулировку математической модели

Для этой модели годограф ОГТ от локально-постоянного уровня может быть записан в следующем виде [6]:

$$t_{LC}(L) = \sqrt{t_0^2 + \frac{L^2}{V_c^2}}. \quad (1)$$

Тогда годограф ОГТ от плавающего уровня приведения можно записать в виде

$$t_{FD}(L) = \sqrt{\left(t_0 + \frac{h_s + h_g}{V_a}\right)^2 + \frac{L^2}{V_c^2}}, \quad (2)$$

где h_s — превышение плавающего уровня в точке источника над ЛПУ; h_g — превышение плавающего уровня в точке приемника над ЛПУ; V_a — скорость в приповерхностном слое, которая может быть принята как скорость замещения, применяемая для компенсации зоны малых скоростей (ЗМС). В этом виде формула годографа ОГТ может быть использована для оценки скорости V_c по спектрам скоростей и является аналогом формулы двойного квадратного корня (DSR), представленной в работе [1]. Но в отличие от формулы DSR она проще в вычислительном плане, так как нет необходимости считать корень дважды. Для дальнейшего построения математической модели введем некоторые допущения: 1) перевод данных с ЛПУ на плавающий уровень будем осуществлять путем введения соответствующих статических поправок; 2) будем полагать, что плавающий уровень в окрестности ОСТ является симметричной функцией относительно ОСТ. При этих предположениях и пользуясь формулой разложения функции плавающего уровня в ряд Тейлора в окрестности ОСТ годограф ОГТ можно записать в виде

$$t_{FD}(L) = \sqrt{t_0^2 + \frac{L^2}{V_c^2}} + \sum_{i=0}^{\infty} \frac{a_i}{V_a} \left(\frac{L}{2}\right)^i, \quad (3)$$

где a_i — коэффициенты ряда Тейлора для аппроксимации геометрии плавающего уровня в ОСТ.

Пусть по данным сейсмограммы ОГТ от плавающего уровня выполнена оценка некой эффективной скорости V_0 с использованием скоростного анализа по спектрам скоростей. В этом случае можно записать хорошо известное [6] равенство

$$\frac{2}{V_0^2} \approx \left. \frac{d^2 t_{FD}^2(L)}{dL^2} \right|_{L \rightarrow 0}. \quad (4)$$

Здесь использован знак приближительного равенства, поскольку V_0 является эффективной скоростью, а не предельной эффективной скоростью, но в условиях рассматриваемой модели можно использовать знак строго равенства. Если вычислить вторую производную по удалениям квадрата годографа (3) и положить $L = 0$, из уравнения (4) можно получить следующее равенство:

$$\frac{2}{V_0^2} \approx \frac{a_0}{V_a} \left(\frac{a_2}{V_a} + \frac{2}{t_0 V_c^2} \right) + \left(\frac{a_2 t_0}{V_a} + \frac{2}{V_c^2} \right). \quad (5)$$

Таким образом, на оценку эффективных скоростей оказывают влияние только постоянная составляющая a_0 смещения плавающего уровня от ЛПУ (это должен быть уровень, относительно которого измеряется время слежения горизонта t_0) и квадратичная составляющая плавающего уровня a_2 .

Если в уравнении (5) положить $a_2 = 0$, то есть оставить только постоянное смещение годографа, и найти решение относительно искомой скорости V_c , то получим формулу

$$V_c = V_0 \sqrt{1 - \frac{a_0}{V_a t_0}}, \quad (6)$$

которая очень похожа на уже опубликованные формулы [2, 7], полученные с целью выполнения редукции за искажающее влияние априорных стати-

ческих поправок для эффективных скоростей, измеренных от постоянного по всей площади уровня. Но эта формула проще, в ней один раз вычисляется отношение постоянной в пределах ОГТ статической поправки a_0/V_a к значению двойного времени пробега волны t_0 от уровня измерения этого времени. Для сравнения приведем формулы редукции в ранее опубликованных работах в принятых здесь обозначениях:

$$\text{формула из работы [2]} \quad V_c = V_0 \sqrt{1 + \frac{2a_0}{V_a t_0} - \frac{2a_0}{t_0}},$$

$$\text{формула из работы [7]} \quad V_c = V_0 \sqrt{1 - \frac{V_a^2}{V_0^2} \frac{a_0}{t_0}}.$$

Следует отметить, что если положить $V_a = V_0$ (а это можно сделать, поскольку скорость V_a является принимаемой равной скорости ниже слоя ЗМС), то получим совпадение формулы (6) и формулы из работы [7].

Стоит отметить, что при оценке эффективной скорости от постоянного уровня помимо формулы редукции, приводящей эффективные скорости к уровню их измерения, существует более совершенный параметрический способ оценки и компенсации рельефа, который подробно описан в работе [8].

В аспекте сформулированной задачи гораздо интереснее случай, когда постоянное смещение плавающего уровня относительно уровня измерения двойного времени пробега волны отсутствует, то есть $a_0 \equiv 0$, в этом случае можно получить довольно красивое равенство

$$\frac{2}{V_0^2} \approx \frac{a_2 t_0}{V_a} + \frac{2}{V_c^2}, \quad (7)$$

выражая из которого искомую скорость V_c , получим формулу редукции скоростей за искажающее влияние кривизны плавающего уровня.

$$V_c = \sqrt{\frac{2 V_0^2 V_a}{2 V_a - a_2 t_0 V_0^2}}. \quad (8)$$

В этой формуле необходимо знать коэффициент a_2 , который можно найти путем квадратичной аппроксимации плавающего уровня в пределах базы ОГТ. Для 2D-данных эта задача достаточно просто решается, а вот в случае 3D-данных необходимо выполнять аппроксимацию квадратичной формой с двумя параметрами в направлениях максимальной и минимальной кривизны плавающего уровня в пределах ОГТ, и, соответственно, формула для редукции скоростей, полученных по 3D-данным, будет учитывать эти два параметра.

Численное исследование

1D-модель

Поскольку в частных беседах нередко можно было слышать, что кривизна плавающего уровня не оказывает существенного влияния на погрешность оценки эффективных скоростей, то было выполнено простое одномерное численное моделирование с целью определения возможных

погрешностей отклонения оценки эффективной скорости от задаваемой постоянной скорости в среде (рис. 2).

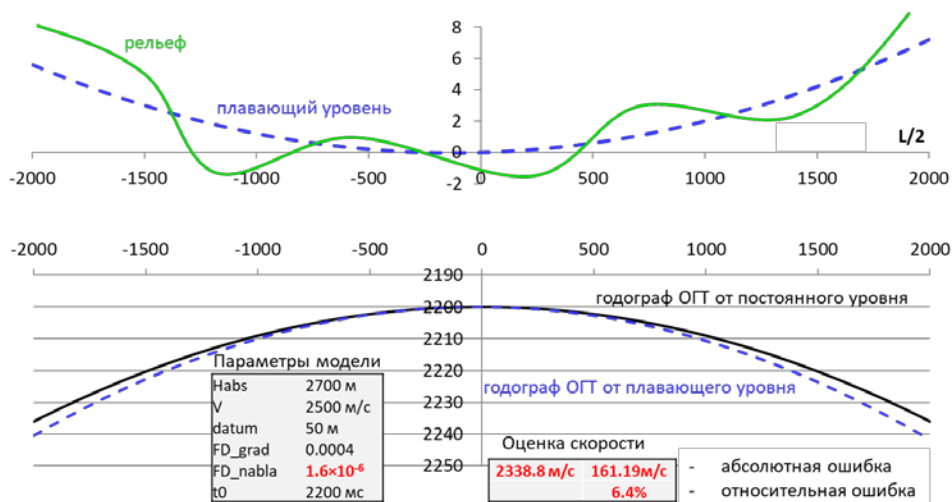


Рис. 2. График изменения плавающего уровня приведения в пределах базы ОГТ (вверху) и годографы ОГТ от плавающего и постоянного уровня приведения (внизу)

По этому рисунку видно, что, несмотря на небольшие перепады плавающего уровня приведения (6 м на базе 2 000 м), ошибка определения скорости достигает 6,8 % или 161 м/с в абсолютных величинах. В ходе выполнения численных экспериментов было выявлено, что градиент изменения плавающего уровня в пределах ОГТ (FD_grad на рисунке) не оказывает никакого влияния на ошибку определения скорости, а вот кривизна плавающего уровня, характеризуемая значением второй производной в пределах базы ОГТ (FD_nabla на рисунке), является основным параметром, влияющим на ошибку определения скорости.

При незначительном изменении плавающего уровня, $\pm 0,5$ метра в пределах ОГТ, можно получить, казалось бы, несущественную относительную погрешность оценки скорости, всего 0,7 %, но абсолютная величина, равная 17,6 м/с, говорит о том, что при современных требованиях к точности структурных построений такая оценка не является приемлемой.

2D-модель

С целью дальнейших исследований была построена 2D-модель среды со следующими параметрами:

- пласт 1: Vint 1700 м/с;
- пласт 2: Нкровли 599,4 м, Vint 2 000 м/с;
- пласт 3: Нкровли на Хмин 1 200 м, Нкровли на Хmax 1 397,4 м, Vint 2 400 м/с;
- пласт 4: Нкровли на Хмин 1 802 м, Нкровли на Хmax 2 401 м, Vint 3 000 м/с;
- пласт 5: Нкровли 2 697 м, Vint 3 200 м/с.

Модель довольно простая с плоскими границами и постоянными интервальными скоростями в слоях, но при этом расчет волнового поля выполнялся от переменного вдоль профиля рельефа дневной поверхности с использованием конечно-разностной схемы для волнового уравнения.

По полученным в результате сейсмограммам для каждой отражающей границы рассчитаны эффективные скорости по горизонтальным спектрам скоростей. На рисунке 3 представлены результаты расчетов.

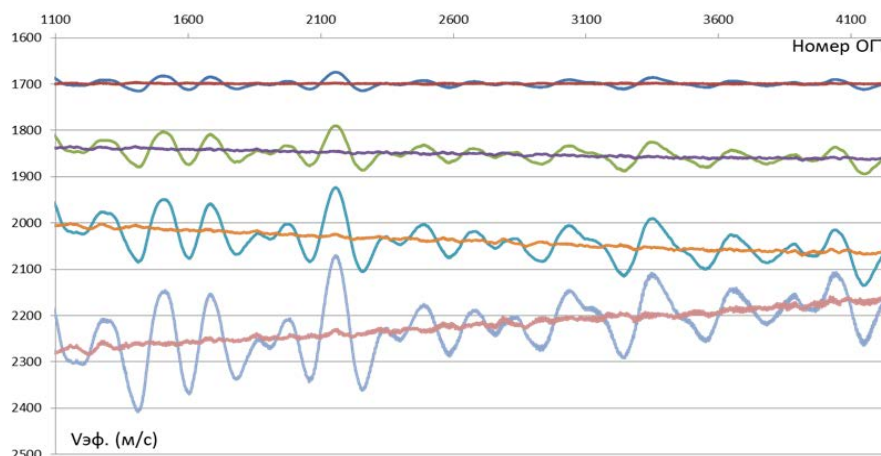


Рис. 3. Графики измеренных (V_0) и редуцированных (V_c) эффективных скоростей для 2D синтетической модели

По этим графикам видно, что эффект влияния кривизны плавающего уровня в абсолютных и относительных величинах в большей степени сказывается на глубоких горизонтах, которые имеют большие средние скорости. Кроме того, можно заметить, что формула (8) редукиции скоростей прекрасно справляется с коррекцией артефактов, вызванных кривизной плавающего уровня.

3D-модель

В дальнейшем была построена 3D синтетическая модель, для которой рельеф дневной поверхности был взят по данным реального проекта. В данном случае расчет волнового поля отраженных волн выполнялся с помощью лучевого приближения. Использованный при построении модели рельеф дневной поверхности и плавающий уровень, полученный в результате сглаживания рельефа на базе с радиусом 2 000 м, показаны на рисунке 4.

В случае 3D-данных, как уже упоминалось выше, выполнение редукиции скоростей по параметрам плавающего уровня является нетривиальной задачей с множеством параметров, оценка которых представляет собой определенные алгоритмические и технологические трудности. Поэтому для данной модели решено было получать оценки эффективных скоростей с предварительным введением статических поправок, переводящих все трассы в пределах одного ОГТ к ЛПУ, равному значению плавающего уровня в общей средней точке. Такой подход предложен в работе [5]. Таким обра-

зом, ЛПУ в пределах одной сейсмограммы ОГТ был константой, но изменялся при переходе к другой сейсмограмме ОГТ.

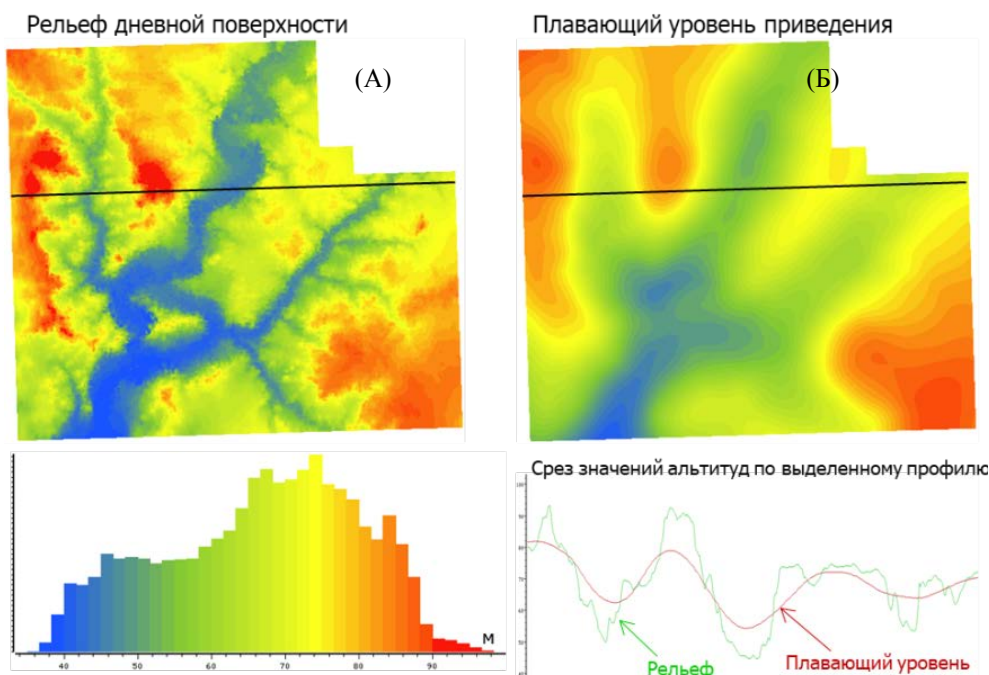


Рис. 4. Рельеф дневной поверхности (А) и плавающий уровень (Б), полученный в результате сглаживания рельефа с радиусом 2 000 м

Кроме этого, было решено опробовать алгоритм построения спектров скоростей непосредственно от рельефа с использованием стороннего ПО и с использованием разрабатываемого ПО, которое получило название «Vстр». В разрабатываемом ПО вычисление годографа для построения спектра скоростей выполнялось по формуле (2). Конструктивно такой подход предпочтительнее, так как исключаются любые статические поправки, связанные с рельефом.

В ходе исследования модели были выполнены следующие работы.

- I. Корреляция горизонтов.
- II. Оценка эффективных скоростей по горизонтальным спектрам, рассчитанным:
 - 1) без ввода статики перевода на ЛПУ;
 - 2) с вводом статики перевода на ЛПУ;
 - 3) непосредственно от рельефа средствами стороннего ПО;
 - 4) непосредственно от рельефа с использованием собственного ПО «Vстр».
- III. Расчет глубин горизонтов по данным эффективных скоростей и времен слежения.

На рисунке 5 показаны карты глубины горизонта G, полученные по четырём перечисленным оценкам эффективной скорости, в скобках даны оценки стандартного отклонения погрешности глубин, соответствующие этим оценкам скоростей.

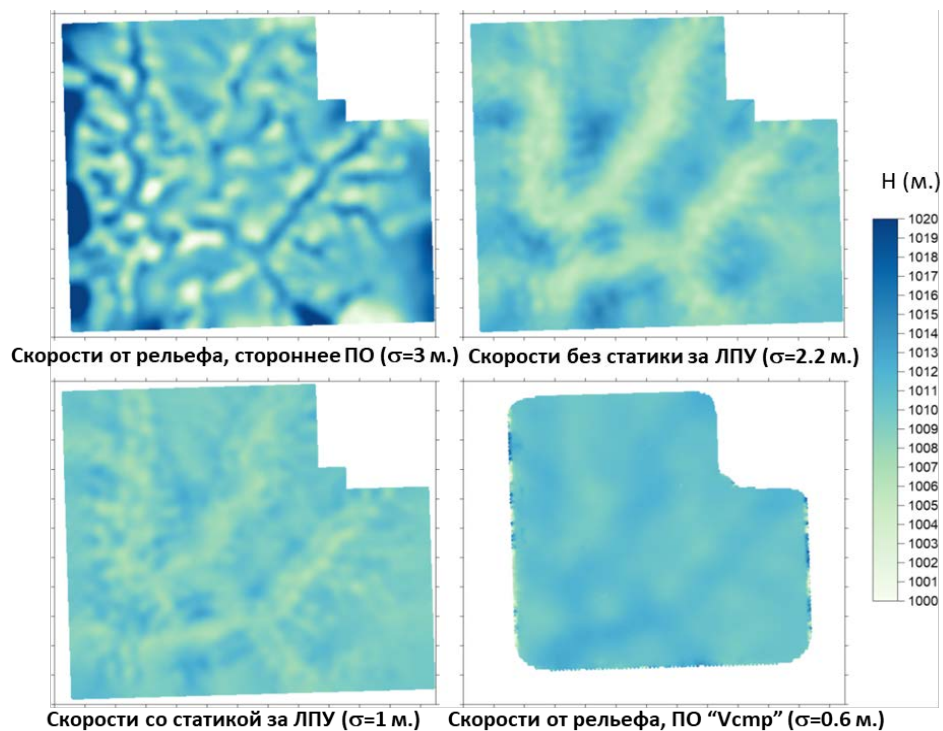


Рис. 5. Карты глубины горизонта G, полученные с использованием различных оценок эффективной скорости до этого горизонта

На рисунке 6 представлены эти же глубины в разрезе. Как можно заметить по этим рисункам, введение статических поправок за ЛПУ приводит к существенному уточнению структурного плана — более чем в два раза. Наиболее точный вариант был получен с использованием эффективных скоростей, оцененных непосредственно от поверхности наблюдений.

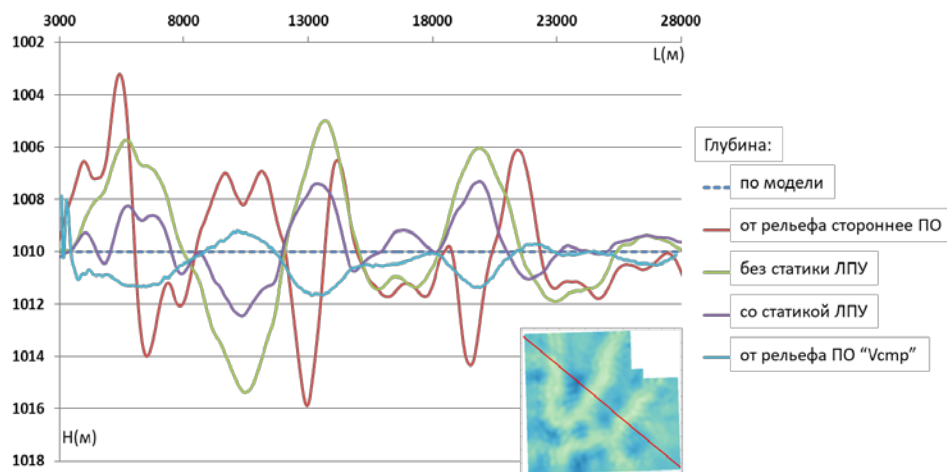
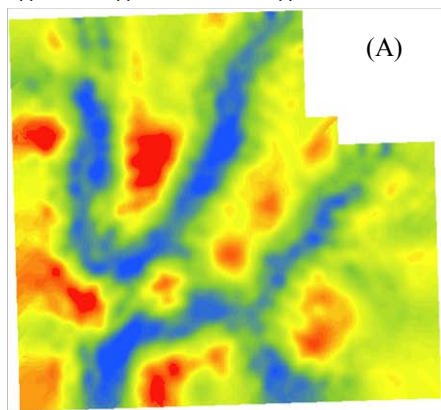


Рис. 6. Представление глубины горизонта G, полученной по разным оценкам эффективных скоростей, в разрезе

Если же сравнивать результаты выполнения оценок эффективных скоростей по модельным данным и по реальным данным без применения статистики за ЛПУ (рис. 7), то видно, что артефакты оценки эффективных скоростей, вероятно связанные с кривизной плавающего уровня, отчетливо проявляются на реальных данных и соответствуют аномалиям, полученным по модельным данным.

Карта скоростей вдоль горизонта G по
модельным данным без ввода статистики за ЛПУ



Карта скоростей вдоль горизонта G по
реальным данным без ввода статистики за ЛПУ

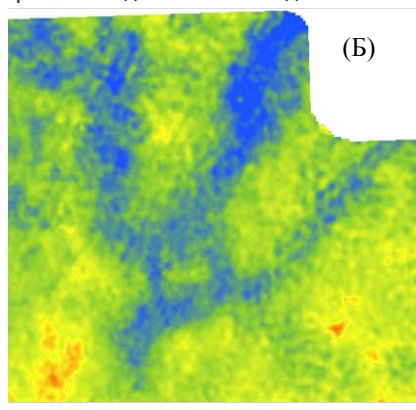


Рис. 7. Карты эффективных скоростей, полученные без ввода статистики за ЛПУ по модельным (А) и реальным (Б) данным

При оценке эффективных скоростей для горизонта В, как и ожидалось, влияние кривизны плавающего уровня проявляется в большей степени. Если же сравнивать карты глубин по горизонту В, полученные с использованием эффективных скоростей, оцененных по сейсмограммам без ввода статистических поправок за ЛПУ и с применением статистических поправок за ЛПУ (рис. 8), то видно, что поверхность, полученная после ввода статистических поправок за ЛПУ, в большей степени соответствует поверхности задаваемой в модели.

Наиболее наглядно различие поверхностей горизонта В, полученных двумя различными способами, можно увидеть при сопоставлении разрезов по картам глубин (рис. 9).

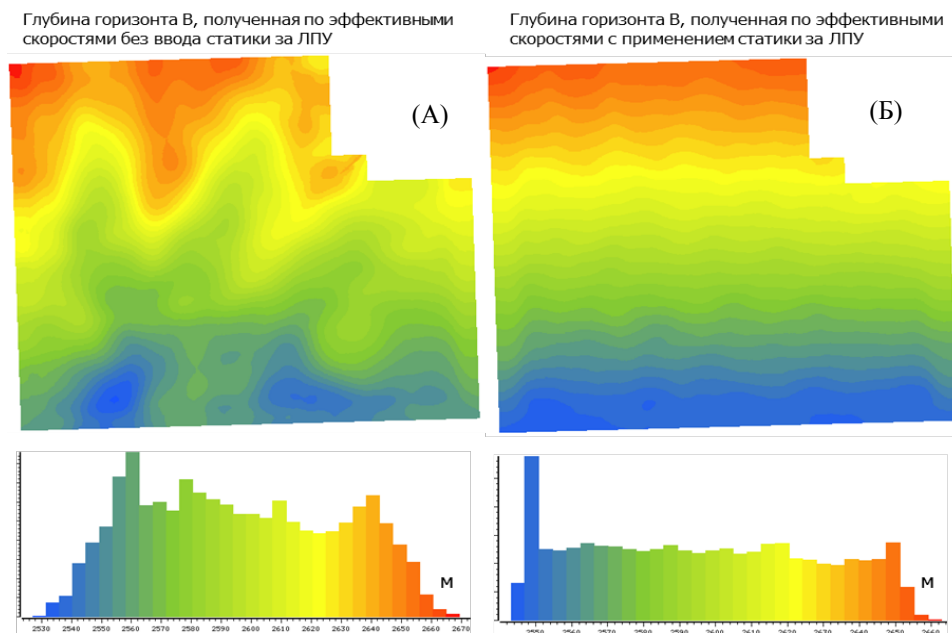


Рис. 8. Карты глубин по горизонту В, полученные с использованием эффективных скоростей, оцененных по сейсмограммам без ввода статических поправок за ЛПУ (А) и с применением статических поправок за ЛПУ (Б)



Рис. 9. Разрезы по картам глубин горизонта В, полученные с использованием эффективных скоростей, оцененных по сейсмограммам без ввода статических поправок за ЛПУ (зеленым цветом) и с применением статических поправок за ЛПУ (красным цветом)

Для оценки точности восстановления глубины горизонта В построены два графика (рис. 10) зависимости глубины горизонта В по модели от глубин горизонта В, полученной с использованием эффективных скоростей с вводом статики за ЛПУ и без ввода статических поправок за ЛПУ. Как видно по этим графикам, точность восстановления глубины горизонта В

при использовании эффективных скоростей, рассчитанных с приведением сейсмограмм на ЛПУ, точнее в семь раз.

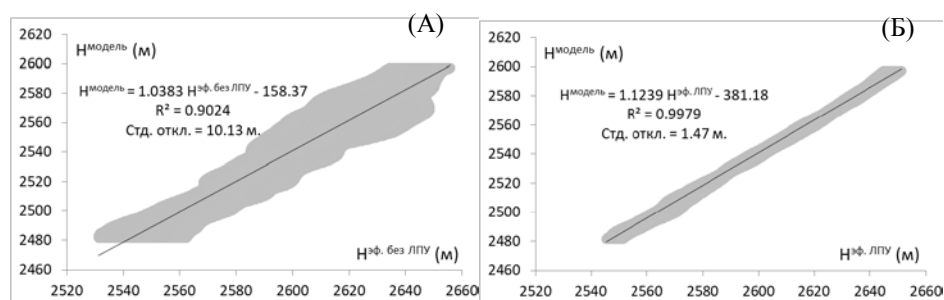


Рис. 10. Графики зависимости глубины горизонта В по модели от оценки глубин горизонта В, рассчитанной по эффективным скоростям без применения статики за ЛПУ (А), с применением статики за ЛПУ (Б)

Кажущаяся НТИ анизотропия в кинематике волн

Итак, влияние перепада отметок рельефа на эффективные скорости не вызывает сомнений. Вопросы вызывает только то, насколько сильно это влияние выражено и можно ли им пренебречь.

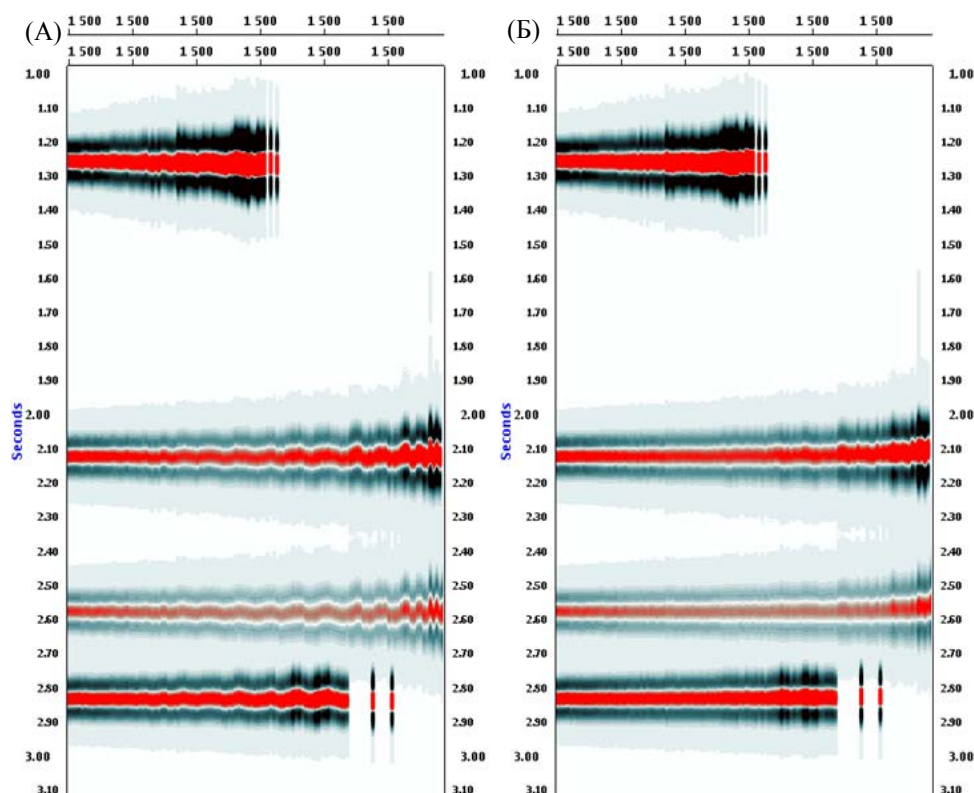


Рис. 11. Сейсмограмма ОГТ в сортировке группа удалений/азимут до (А) и после (Б) перехода на локально-постоянный уровень, 3D синтетические данные

Поэтому далее рассмотрим искажающее влияние рельефа на анализ НТИ анизотропии по кинематическим параметрам. НТИ\ТТИ анизотропия проявляется в виде различных значений скоростей сейсмических волн в зависимости от направления (азимута) прихода луча, что наблюдается на сейсмограммах сортировки «snail» (ОСТ-группа удалений-азимут) в виде «wobbling» эффекта (волнообразные колебания годографа отраженной волны с введенной кинематикой).

Анализ полученных синтетических 3D-данных показал наличие такого эффекта в зонах, где перепады рельефа различаются в зависимости от азимута наблюдений. Учитывая изотропный характер 3D синтетической модели, обнаружение «wobbling» эффекта на сейсмограммах было достаточно неожиданным и обусловлено не наличием зависимости скорости от направления, а разницей в расстоянии, преодолеваемом лучами между источниками и приемниками с разной альтитудой в пределах одной точки ОГТ. Дальнейшие тесты показали, что ввод дополнительной статической поправки для перехода на ЛПУ почти полностью нивелирует проявление этой кажущейся НТИ анизотропии (рис. 11).

Имея положительный результат компенсации влияния перепада отметок рельефа для синтетических данных, было принято решение выполнить подобный анализ уже на реальных данных. Для анализа были использованы сейсмограммы с той же площади, с которой брались отметки рельефа для расчета синтетической 3D-модели. Было подготовлено два набора данных:

- набор сейсмограмм после стандартного графа динамической обработки до регуляризации;
- этот же набор с вводом статики для перехода на ЛПУ.

По обоим наборам данных выполнены регуляризация и временная миграция до суммирования.

Анализ полученных сейсмограмм подтвердил влияние перепада отметок рельефа на эффекты, которые могут интерпретироваться как проявление НТИ анизотропии; положительный эффект от перехода на ЛПУ, хоть и выраженный в меньшей степени, чем на синтетических данных.

Примеры мигрированных сейсмограмм после стандартной обработки и обработки с переходом на ЛПУ приведены на рисунке 12.

На практике НТИ анизотропия проявляется достаточно слабо, и разница между быстрыми и медленными скоростями в толщах с большой мощностью обычно не превышает 3–5 %. В этих условиях особенно важно устранить все искажающие эффекты для надежной оценки параметров анизотропии.

Выводы

При построении математической модели было использовано предположение о том, что переход с ЛПУ на плавающий уровень и обратно осуществляется введением соответствующих статических поправок, что неизбежно должно приводить к погрешностям определения скоростей. Как показывают численные эксперименты, такое предположение приводит к погрешностям, но величина этих погрешностей существенно ниже в сравнении с погрешностью определения скоростей напрямую от плавающего уровня.

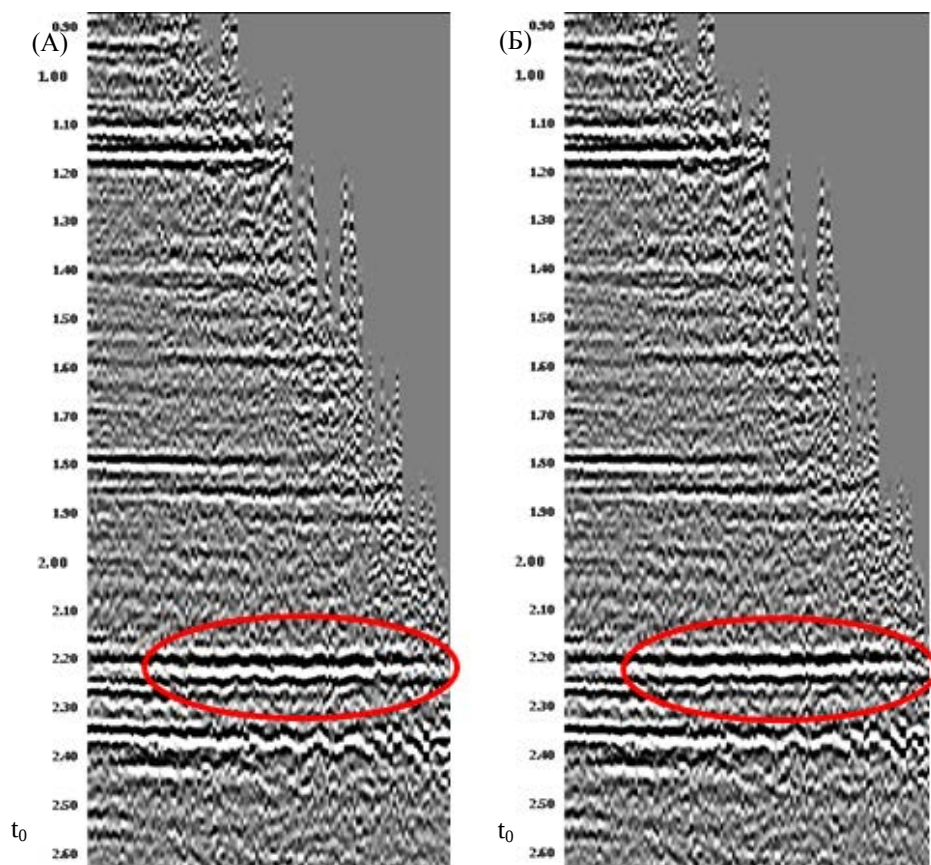


Рис. 12. Сейсмограмма ОГТ в сортировке группа удалений/азимут до (А) и после (Б) перехода на локально-постоянный уровень, реальные данные

Наилучший результат дает оценка эффективной скорости, полученная по данным непосредственно от рельефа, но в этом случае существуют определенные сложности получения времени слежения горизонта от рельефа.

Кроме этого, было использовано предположение о симметричности плавающего уровня относительно ОСТ. Как показали численные эксперименты, именно симметричная составляющая плавающего уровня влияет на ошибку оценки скорости по годографу ОГТ. В ходе одномерного моделирования было установлено, что наличие градиента плавающего уровня не оказывает влияния на оценки скорости. При выполнении численных исследований по двумерной модели удалось почти полностью компенсировать артефакты оценки скорости, применяя формулу (8), которая, в свою очередь, была получена с использованием рассматриваемого предположения.

Выполнено исследование влияния плавающего уровня приведения на кинематические параметры волнового поля на основе 1D, 2D и 3D синтетических моделей. Установлено следующее: 1) оценка эффективных скоростей непосредственно от плавающего уровня существенно отличается от средних скоростей, при этом различие обусловлено степенью кривизны плавающего уровня; 2) в случаях, когда кривизна плавающего уровня существенно изменяется от направления, можно наблюдать эффект ложной

НТИ анизотропии в кинематике отраженных волн; 3) в зависимости от выбора базы сглаживания рельефа для получения плавающего уровня искажающее влияние различно для разных временных интервалов: при большой базе сглаживания существенней искажаются скорости верхних интервалов, при маленькой базе сглаживания — наоборот.

В ходе численных экспериментов разработан подход, позволяющий нивелировать влияние кривизны плавающего уровня на кинематические параметры: перевод источников и приемников в пределах одного ОГТ на ЛПУ. Это не приводит к каким-либо артефактам оценки скоростей и необходимости в дальнейшем как-либо изменять граф обработки.

Указанный подход рекомендуется использовать при составлении графов обработки сейсмических данных во всех проектах, где предполагается выполнение временной миграции до суммирования.

Библиографический список

1. Miao, X. Surface Consistent Full Wave Imaging from Topography for Complex Structures / X. Miao, M. G. Kirtland Grech. – Text : electronic // 71st EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC 2009. – Amsterdam, Netherlands. – URL: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201400519>.
2. Сысоев, А. П. Влияние рельефа на оценки кинематических параметров отраженных волн / А. П. Сысоев, Р. Б. Яневиц. – Текст : непосредственный // Геофизический вестник. – 2004. – № 12. – С. 10–15.
3. Rogers, A. W. Determination of static corrections / A. W. Rogers. – DOI 10.1007/978-94-009-8105-8_1. – Direct text // Developments in geophysical exploration methods / Edited by A. Fitch. – 2nd edition. – Applied Science Publ. Ltd., Springer, Dordrecht, 1981. – P. 1–36.
4. Profeta, M. Minimum field static corrections / M. Profeta, J. Moscoso, M. Koremblit. – DOI 10.1190/1.1437148. – Direct text // The Leading Edge. – 1995. – Vol. 14, Issue 6. – P. 684–687.
5. Frei, W. Refined field static corrections in near-surface reflection profiling across rugged terrain / W. Frei. – DOI 10.1190/1.1437124. – Direct text // The Leading Edge. – 1995. – Vol. 14, Issue 4. – P. 259–262.
6. Интерпретация данных сейсморазведки : справочник / Под редакцией О. А. Потапова. – Москва : Недра, 1990. – 447 с. – Текст : непосредственный.
7. Черняк, В. С. Искажающий эффект поправок за рельеф в сейсморазведке / В. С. Черняк. – Текст : непосредственный // Технологии сейсморазведки. – 2005. – № 3. – С. 45–48.
8. Сысоев, А. П. Параметрический способ учета неоднородности верхней части разреза при обработке данных МОГТ / А. П. Сысоев, Г. Д. Горелик. – DOI 10.15372/GiG20170610. – Текст : непосредственный // Геология и геофизика. – 2017. – Т. 58, № 6. – С. 948–954.

References

1. Miao, X., & Kirtland Grech, M. G. (2009). Surface Consistent Full Wave Imaging from Topography for Complex Structures. 71st EAGE Conference and Exhibition Incorporating SPE EUROPEC 2009, Amsterdam, Netherlands. (In English). Available at: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201400519>
2. Sysoev, A. P., & Yanevits, R. B. (2004). Vliyanie rel'efa na otsenki kinematicheskikh parametrov otrazhennykh voln. Geofizicheskiy vestnik, (12), pp. 10-15. (In Russian).
3. Rogers, A. W. (1981). Determination of Static Corrections. Developments in Geophysical Exploration Methods, pp. 1-36. (In English). DOI: 10.1007/978-94-009-8105-8_1
4. Profeta, M., Moscoso, J., & Koremblit, M. (1995). Minimum field static corrections. The Leading Edge, 14(6), pp. 684-687. (In English). DOI: 10.1190/1.1437148

5. Frei, W. (1995). Refined field static corrections in near-surface reflection profiling across rugged terrain. *The Leading Edge*, 14(4), pp. 259-262. (In English). DOI: 10.1190/1.1437124
6. Potapov, O. A. (Ed.). (1990). *Interpretatsiya dannykh seysmorazvedki : spravochnik*. Moscow, Nedra Publ., 447 p. (In Russian).
7. Chernyak, V. S. (2005). Iskazhayushchiy effekt popravok za rel'ef v seysmorazvedke. *Tehnologii seysmorazvedki*, (3), pp. 45-48. (In Russian).
8. Sysoev, A. P., & Gorelik, G. D. (2017). Parametric method of compensation for near-surface heterogeneity in processing CDP data. *Russian Geology and Geophysics*, 58(6), pp. 948-954. (In Russian). DOI: 10.15372/GiG20170610

Сведения об авторах

Новокрецин Алексей Васильевич, старший эксперт, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень, e-mail: avnovokreschin@tnnc.rosneft.ru

Ракивненко Дмитрий Сергеевич, начальник отдела, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

Игнатьева Яна Александровна, главный специалист, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

Мусатов Илья Владимирович, начальник отдела, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

Каримов Ильфат Ильгисович, главный специалист, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», г. Тюмень

Information about the authors

Aleksey V. Novokreschin, Senior Expert, Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen, e-mail: avnovokreschin@tnnc.rosneft.ru

Dmitry S. Rakivnenko, Head of the Department, Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen

Yana A. Ignatieva, Chief Specialist, Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen

Ilya V. Musatov, Head of the Department, Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen

Ifat I. Karimov, Chief Specialist, Tyumen Petroleum Scientific Center LLC, Tyumen