

# Изучение тектонических нарушений доюрского комплекса Западной Сибири методом дифракционной визуализации

Л.И. Давлетова, Р.Ю. Бояркин, Г.А. Микеров, И.Н. Керусов, А.И. Хисамутдинова, Д.Е. Мирошниченко  
ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» | Москва, Россия  
davletovalidiia@gmail.com

## Аннотация

В данной работе представлены результаты исследований, целью которых является получение дополнительной информации о тектоническом строении доюрского комплекса на нефтяном месторождении в Западной Сибири, получаемой из сейсмических данных в поле дифрагированных волн. Доюрский комплекс известен своим сложным строением и большим количеством тектонических нарушений. Дифракционная визуализация является методом обнаружения дифракторов волнового поля, которые представляют собой мелкие трещины, разломы и другие объекты [1]. Основная идея метода заключается в использовании дифракции как дополнительной информации, которая в методе отраженных волн является помехой. Данный метод был использован на данном месторождении впервые. В результате проведенных исследований получены полигоны распространения зон трещиноватости и тектонических нарушений.

## Ключевые слова

дифракционная визуализация, доюрский комплекс, тектонические нарушения

## Материалы и методы

Сейсмические данные получены с площади исследования, которая расположена в северной части Фроловской мегавпадины Западной Сибири. Был использован метод дифракционной визуализации

## Благодарности

Работа выполнена при поддержке управления сейсмических исследований ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг». Авторы выражают благодарность компаниям «Лукойл-Югра», «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг» за предоставленные материалы для исследований.

## Для цитирования:

Л.И. Давлетова, Р.Ю. Бояркин, Г.А. Микеров, И.Н. Керусов, А.И. Хисамутдинова, Д.Е. Мирошниченко. Изучение тектонических нарушений доюрского комплекса Западной Сибири методом дифракционной визуализации // Экспозиция Нефть Газ. 2020. №2. С. 16-19. DOI:10.24411/2076-6785-2020-10079.

Поступила в редакцию: 20.03.2020

## GEOPHYSICS

UDC 550.3 | Original Paper

## The study of tectonic dislocations of the pre-jurassic complex of Western Siberia in the field of diffracted waves

Lidiya I. Davletova, Roman Yu. Boyarkin, Georgy A. Mikerov, Igor N. Kerusov, Aysylu I. Khisamutdinova, Dmitry E. Miroshnichenko  
LUKOIL-Engineering LLC | Moscow, Russian Federation  
davletovalidiia@gmail.com

## Abstract

The paper presents results of research, the purpose of which is to obtain additional information on the tectonic structure of the pre-Jurassic complex at an oil deposit in Western Siberia, obtained from seismic data in the field of diffracted waves. A complex geological structure and a large number of tectonic dislocations characterize the Pre-Jurassic complex within the field. Diffraction imaging is the method of detecting diffractors of wavefield that represent fracture zones, faults and other objects [1]. The main idea of the method is to use diffraction as additional information, which in the method of reflected waves is a noise. The method was used at this oilfield for the first time. As a result of the studies, polygons of the distribution of zones of fracture and tectonic dislocations were obtained.

## Keywords

diffracted wave visualization, pre-Jurassic complex, tectonic dislocations

## Materials and methods

Seismic data were obtained from the study area, which is located in the northern part of the Frolovskoye megabasin of Western Siberia. The diffraction imaging method was used.

## Acknowledgements

The work was supported by Seismic research department LUKOIL-Engineering LLC. for the provided research materials. The authors are grateful to the companies LUKOIL-Yugra and LUKOIL-Engineering LLC.

## For citation:

Lidiya I. Davletova, Roman Yu. Boyarkin, Georgy A. Mikerov, Igor N. Kerusov, Aysylu I. Khisamutdinova, Dmitry E. Miroshnichenko. The study of tectonic dislocations of the pre-jurassic complex of Western Siberia in the field of diffracted waves // Экспозиция Нефть Газ = Exposition Oil Gas, 2020, issue 2, pp. 16-19. (In Russ.). DOI:10.24411/2076-6785-2020-10079.

Received: 20.03.2020

**Введение**

При интерпретации сейсмических данных крайне важной задачей является определение местоположения геологических объектов, представляющих интерес для нефтяников. Сюда входят такие объекты как зоны трещиноватости, тектонические нарушения, разномасштабные неоднородности.

При стандартной интерпретации поля отраженных волн выделение тектонических нарушений производится визуально по наличию признаков разрывов и смещений осей синфазности, а также при помощи анализа специальных атрибутов, таких как когерентность, хаос, ант-трекинг и других, направленных, на выделение и прослеживание линий потери или ухудшения корреляции отраженных волн [2].

При интерпретации поля дифрагированных волн производится выявление тектонических нарушений как источника информации, а не ее отсутствия, так как при специальной обработке дифрагированные волны выделяются, а не подавляются/фильтруются, как при стандартной обработке. Рассеянные волны образуются в зонах неоднородности геологической среды с размерами, много меньшими длины падающей волны.

Месторождение расположено в северной части Фроловской мегавпадины Западной Сибири. Нефтеносность месторождения связана с доюрским комплексом (далее — ДЮК), отложениями юрского и мелового возраста, продуктивность которых доказана и на соседних месторождениях.

С целью повышения точности и достоверности локализации зон трещиноватости и тектонических нарушений в доюрском комплексе на месторождении осуществлен новый для региона метод визуализации данных по дифрагированным волнам.

По результатам интерпретации сейсмических данных 3D-поля отраженных волн рельеф поверхности доюрских отложений на площади исследуемого месторождения сильно изрезан (рис. 1).

**Преимущества дифракционной визуализации**

Локальные структурные и литологические элементы среды, размерами сравнимые с длиной волны, обычно игнорируются во время обработки данных отраженных волн и определяются только в процессе интерпретации

[1]. В данной работе применяется принципиально иной подход: сейсмический отклик от таких мелкомасштабных элементов как раз и содержится в дифрагированных волнах, а значит, позволяет использовать информацию в той области, которую обычно стараются отфильтровать из исходного сейсмического материала.

Сейсмическая рассеянная волна формируется совокупностью отдельных фрагментов отражений от неоднородностей. Отклик сейсмической энергии от зоны концентрации трещин и/или каверн представляет собой суперпозицию волновых сигналов, возникающих в зоне трещиноватости. Это делает возможным обнаружение таких зон. В общем случае эффект рассеивания является частотно-зависимым [3].

Данная особенность применяется в методе гидролокации бокового обзора (далее — ГЛБО). Методика получения атрибутов по данным ГЛБО основана на оценке статистических параметров распределений случайной величины. В данной задаче в роли случайной величины выступает значение обратного рассеяния акустического импульса ГЛБО, а статистическим экспериментом является сам эффект обратного рассеяния на неоднородностях [4].

Дифракция волн происходит на двух типах дифрагирующих объектов:

неоднородность, или объект, соизмеримый с длиной волны; а также источник типа «ступ» (рис. 2, слева). Такими источниками чаще всего являются края протяженных объектов и неоднородности, размеры которых соизмеримы с длиной волны. В большинстве случаев дифрагированные волны считаются помехой, так как не подчиняются закону Снеллиуса, но при специальной обработке, они могут значительно повысить информативность сейсмической съемки при выделении структурных особенностей, которые невозможно увидеть на кубе сейсмических отраженных волн после глубинной миграции.

Основой метода разделения поля на компоненты является различное поведение отраженных и дифрагированных волн на сейсмограммах общей точки изображения в области углов наклона.

Кинематика дифрагированной и отраженной волн различаются, что немаловажно для разделения их по годографам. Для модели прямоугольного клина (рис. 2, слева) годографы отраженной и дифрагированной волны в различных системах наблюдений выглядят таким образом, как представлено на рис. 2 (справа).

В сортировке «общий пункт возбуждения» оба годографа совпадают в точке  $X_B$  и близки в некоторой окрестности. Таким образом, в зоне, где интенсивность дифракции

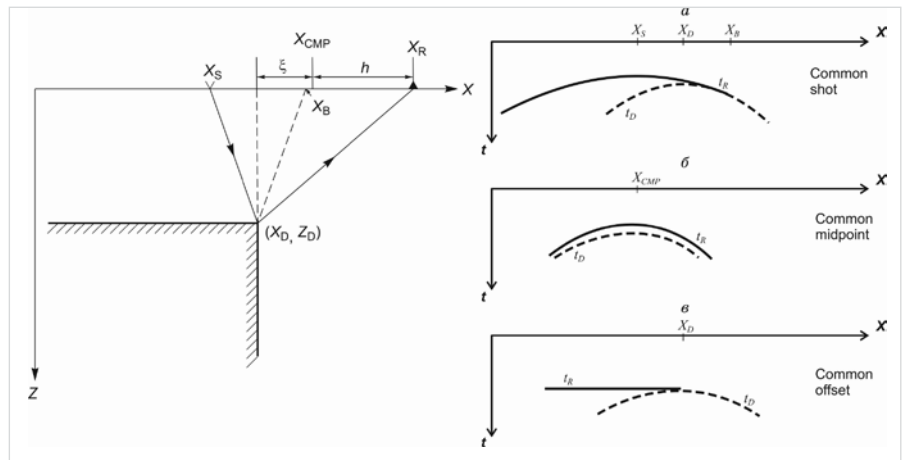


Рис. 2 — Годографы отраженной и дифрагированной волны в различных системах наблюдений для модели прямоугольного клина [4].  
 Fig. 2. — Hodographs of the reflected and diffracted waves in various observation systems for the rectangular wedge model [4].

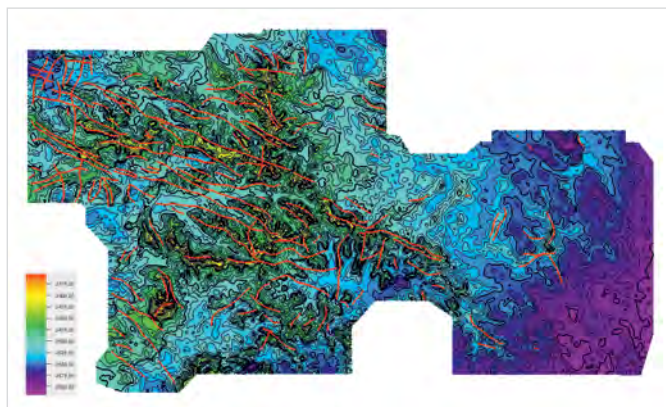


Рис. 1 — Карта поверхности доюрского комплекса по данным сейсморазведки 3Д в поле отраженных волн  
 Fig. 1. — Map of the surface of the pre-Jurassic complex according to 3D seismic data in the field of reflected waves

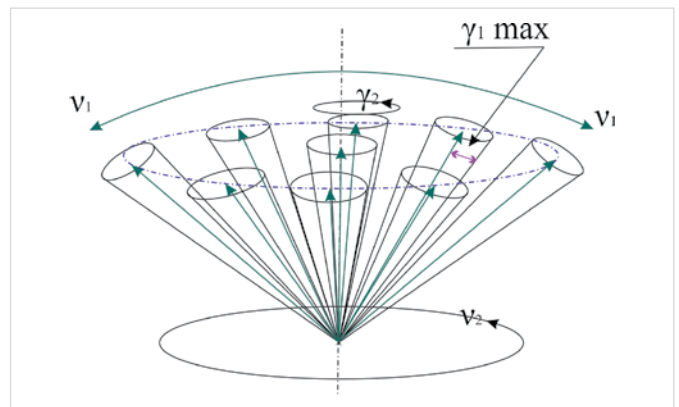


Рис. 3 — Схема сборки дирекционной сейсмограммы.  
 Fig. 3. — The assembly diagram of the directional seismogram.

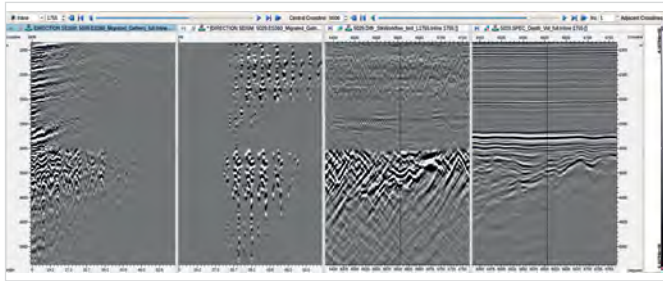


Рис. 4 — Дирекционная сейсмограмма до суммирования в области углов наклона (А), сейсмограмма до суммирования после фильтрации зеркальной компоненты (Б). Срезы куба по одному инлайну рассеянной (В) и зеркальной (Г) компоненты  
 Fig. 4. — Directional seismogram before summation in the field of tilt angles (A), seismogram before summation after filtering the mirror component (B). Cube slices along one inline of the scattered (B) and mirror (G) components

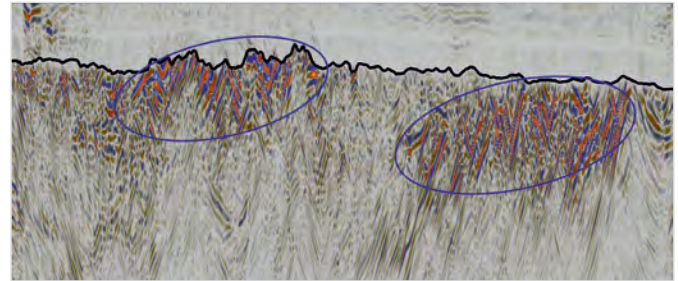


Рис. 5 — Разрез куба дифрагированных волн в верхней части ДЮКа  
 Fig. 5. — The section of the cube of diffracted waves in the upper part of the pre-Jurassic complex.

сравнима с отражением, годографы обеих волн близки и их разделение затруднено.

В сортировке «общая глубинная точка», когда точка ОГТ находится точно над дифрактором, годографы отраженной и дифрагированной волн совпадают, что делает их разделение невозможным.

С кинематической точки зрения сейсмограмма «общего удаления» является наиболее подходящей для разделения волн, так как годограф отраженной волны по форме повторяет геометрию границы, тогда как годограф дифрагированной волны представляет собой гиперболу с вершиной в точке дифракции. На практике существует значительная разница в форме годографов в данной сортировке [1].

#### Расчет куба рассеянной составляющей

Процесс разделения волнового поля на зеркальную компоненту (соответствующей отраженной волне) и рассеянную компоненту (соответствующей дифрагированной волне) происходит при помощи сборки дирекционных сейсмограмм и фильтрации зеркальной составляющей. Для разделения волнового поля на зеркальную и рассеянную составляющую используются дирекционные сейсмограммы. Они формируются из трасс, соответствующих лучам (падающий и рассеянный), заключенным в «лучевом конусе», определенном углом раскрытия  $\gamma_{1max}$ . При помощи изменения склонения  $\nu_1$  и азимута  $\nu_2$  из множества «конусов» собирается дирекционная сейсмограмма, на которой сначала располагается зеркальная компонента,

на больших наклонениях — рассеянная (рис 3) В таком представлении волновое поле постепенно переходит от отраженной составляющей к дифрагированной.

Для исследуемого участка были рассчитаны дирекционные сейсмограммы. Компоненты волнового поля разделены на зеркальную и рассеянную вышеописанным способом. Далее зеркальная и рассеянная компоненты были просуммированы раздельно и, соответственно, получены два куба сейсмических данных. На рис. 4 показаны разрезы сейсмических данных.

После фильтрации зеркальной компоненты и суммирования рассеянной компоненты получен куб рассеянной компоненты, используемый для дальнейшей интерпретации.

#### Комплексная интерпретация куба тектонических нарушений в интервале доюрского комплекса в полях отраженных и дифрагированных волн

В поле рассеянных волн ДЮКа, в основном, выделяются аномальные объекты, которые имеют пространственный наклон. Однако встречаются и локальные объекты субгоризонтального простирания, не связанные с отражателями в поле отраженных волн (рис. 5).

На изучаемом участке признаки нарушений в поле рассеянных волн хорошо коррелируются с результатами, полученными ранее для атрибутов когерентности отраженных волн (Anttracking-a). На рис. 6 показаны разрезы по инлайну кубов атрибутов сейсмических данных:

1. Амплитуда зеркальной компоненты
2. Амплитуда рассеянной компоненты
3. Когерентность по методу Anttracking-a

На разрезе куба дифрагированных волн (посередине) наблюдаются яркие наклонные оси синфазности, которые характеризуют субвертикальные объекты (тектонические нарушения) — источники дифракции. При сравнительном анализе с разрезами амплитуды зеркальной (отраженной) компоненты и атрибута Anttracking-a отмечается высокое количество совпадений локализации тектонических нарушений на всех трех разрезах.

На горизонтальном срезе -2600 мс куба рассеянных волн представлена характерная волновая картина для верхней части доюрского комплекса (рис. 7). В центре пика рассеянных волн формируют линейные объекты тектонической природы, преимущественно северо-западного направления, однако при продвижении с севера на юг, их азимут меняется с ЭСЗ простирания к ССЗ простиранию. В западной части участка видны субмеридиональные тектонические нарушения.

При наложении на данный срез полигонов тектонических нарушений, которые были проведены по кубу отраженных волн после глубинной миграции, отмечается высокое количество совпадений объектов на кубе дифрагированных волн и полигонов тектонических нарушений (рис. 7). Однако отмечаются и различия, связанные с разной характеристикой нарушений в поле отраженных и дифрагированных волн.

Потенциальным преимуществом поля дифрагированных волн является амплитуда

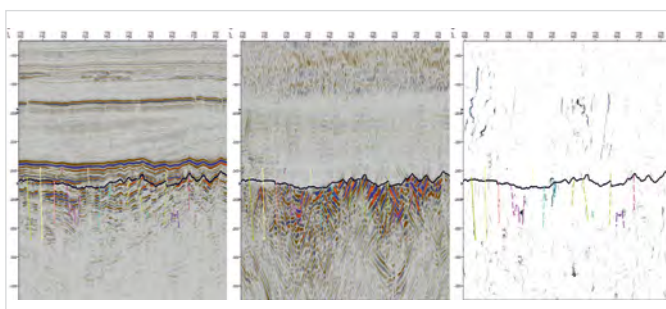


Рис. 6 — Разрезы кубов сейсмических данных (слева направо): куб зеркальной компоненты, куб рассеянной компоненты, куб Anttracking-a.  
 Fig. 6. — Sections of seismic data cubes (from left to right): mirror component cube, diffuse component cube, Anttracking cube.



Рис. 7 — Горизонтальный срез куба дифрагированных волн на времени -2600 мс с нанесенными полигонами тектонических нарушений (голубой цвет) и границами сейсмофациальных зон (желтый цвет).  
 Fig. 7. — A horizontal section of the cube of diffracted waves at a time of -2600 ms with plotted tectonic fault polygons (blue color) and the boundaries of seismic facies zones (yellow color).

колебания, которая характеризует акустическую контрастность дифрагирующего объекта, в то время как отраженная волна дает только геометрию линии тектонического нарушения.

#### Итоги

По итогам анализа проведенной работы были сделаны следующие выводы:

- доказана эффективность метода дифракционной визуализации для обнаружения дифракторов волнового поля, которые представляют собой разномасштабные трещины, разломы и другие геологические объекты;
- доюрский комплекс на месторождении формирует интенсивный фон рассеянных волн с характерной геометрией и определенным азимутальным направлением;
- имеется потенциал динамической интерпретации дифрагированных волн для получения информации об упругих свойствах зон тектонических нарушений.

#### Выводы

Тектонические нарушения в поле дифрагированных волн — источник информации не только о геометрии объектов, но и об их акустической контрастности, в отличие от только геометрии разрыва осей синфазности по полю отраженных волн. Совместная интерпретация сейсмических данных дифрагированных и отраженных волн повышает достоверность интерпретации тектонических нарушений в пространстве. Таким образом, авторами предлагается использование метода дифракционной визуализации для повышения точности определения местонахождения перспективных зон, таких как зоны трещиноватости и тектонических нарушений.

#### Литература

1. Ланда Е.И. Роль дифракционной компоненты волнового поля при построении сейсмических изображений // Технологии сейсморазведки. 2013. №1. С. 5–31.

2. Левянт В. Б., Керусов И.Н., Хромова И.Ю., Козлов Е.А., Кашчев Д.Е., Колесов В.В., Мармалевский Н.Я. Методические рекомендации по использованию данных сейсморазведки для подсчета запасов углеводородов в условиях карбонатных пород с пористостью трещинно-кавернового типа. Москва: Федеральное агентство по недропользованию, 2010. 250 с.
3. Ампилов Ю.П. Поглощение и рассеяние сейсмических волн в неоднородных средах. Москва: Недра, 1992. 160 с.
4. Ампилов Ю.П., Терехина Я.Е., Токарев М.Ю. Прикладные аспекты сейсмических и гидроакустических исследований на шельфе в различных частотных диапазонах // Геофизические процессы и биосфера. 2019. Т.18. №1. С. 33–49.
5. Landa E., Shiiivclinaii V., Gelchinsky B. A method for detection of diffracted waves on common-offset section // Geophysical Prospecting, 1987, issue 35 (4), pp. 359–374. (In Eng.).

#### ENGLISH

#### Results

Based on the analysis of the work carried out, the following conclusions were made:

- proved the efficiency of diffraction imaging method to detect diffractors wavefield which represent different scales cracks, fractures and other geological features;
- the pre-Jurassic complex at the field forms an intense background of scattered waves with a characteristic geometry and a certain azimuthal direction;
- there is the potential for dynamic interpretation of diffracted waves to obtain information on the elastic properties of zones of tectonic dislocations.

#### References

1. Landa E. Role of wave field diffraction component in seismic imaging // Seismic Technology, 2013, issue 1, pp. 5–31. (In Russ.).
2. Levyant V.B., Kerusov I.N., Khromova I.Yu., Kozlov E.A., Kashcheev D.E., Kolesov V.V., Marmalevsky N.Ya. Methodical recommendations on the use of seismic data

- to calculate hydrocarbon reserves in the conditions of carbonate rocks with porosity of the fissure-cavern type. Moscow: Federal Agency for Subsoil Use, 2010, 250 p. (In Russ.).
3. Ampilov Yu.P. Absorption and scattering of seismic waves in inhomogeneous media. Moscow: Nedra, 1992, 160 p. (In Russ.).
4. Ampilov Yu.P., Terexhina Ya.E., Tokarev M.Yu.

- Applied aspects of different frequency bands of seismic and water acoustic investigations on the shelf // Geophysical Processes and Biosphere, 2019, vol. 18, issue 1, pp. 33–49. (In Russ.).
5. Landa E., Shiiivclinaii V., Gelchinsky B. A method for detection of diffracted waves on common-offset section // Geophysical Prospecting, 1987, issue 35 (4), pp. 359–374.

#### Conclusions

Tectonic dislocations in the field of diffracted waves are a source of information not only about the geometry of objects, but also about their acoustic contrast, in contrast to only the geometry of the rupture of the axes of common mode along the field of reflected waves. The joint interpretation of seismic data of diffracted and reflected waves increases the reliability of the interpretation of tectonic dislocations in space. Thus, the authors propose the use of the diffraction imaging method to increase the accuracy of determining the location of promising zones, such as zones of fracture and tectonic dislocations.

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ | INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Давлетова Лидия Ильшатовна**, аспирант МГУ имени М.В. Ломоносова, геофизик 2 категории Отдела сопровождения обработки и сейсморазведочных работ управления сейсмических исследований ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

Для контактов: [davletovalidiia@gmail.com](mailto:davletovalidiia@gmail.com)

**Бояркин Роман Юрьевич**, начальник отдела сопровождения обработки и сейсморазведочных работ управления сейсмических исследований ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

**Микеров Георгий Алексеевич**, геофизик отдела сопровождения обработки и сейсморазведочных работ управления сейсмических исследований ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

**Керусов Игорь Николаевич**, к.г.-м.н., начальник управления сейсмических исследований ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

**Хисамутдинова Айсылу Ильдаровна** к.г.-м.н., отдел технологий сейсмических исследований управления сейсмических исследований ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

**Мирошниченко Дмитрий Евгеньевич** к.ф.-м.н., отдел технологий сейсмических исследований управления сейсмических исследований ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг»

**Davletova Lidiya Ilshatovna**, graduate student of Moscow State University named after M.V. Lomonosov, category 2 geophysicist of the Processing and Seismic Exploration Support Department of the Seismic Research Department of LUKOIL-Engineering LLC  
Corresponding author: [davletovalidiia@gmail.com](mailto:davletovalidiia@gmail.com)

**Boyarkin Roman Yuryevich**, head of Processing Support Department and seismic exploration Seismic research department LUKOIL-Engineering LLC

**Mikerov Georgy Alekseevich**, geophysicist of Processing Support Department and seismic exploration Seismic research department LUKOIL-Engineering LLC

**Kerusov Igor Nikolaevich**, Ph.D., head of Seismic Research LUKOIL-Engineering LLC

**Khislamutdinova Aysylu Ildarovna** Ph.D., Seismic Research Technology Division Seismic research department LUKOIL-Engineering LLC

**Miroshnichenko Dmitry Evgenievich**, Ph.D., Seismic Research Technology Division Seismic research department LUKOIL-Engineering LLC