

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2023.4.39-52>

EDN CWRHUF

УДК 550.834

## **Прогноз перспективных объектов неокомского комплекса на основе сейсмофациального моделирования**

<sup>1</sup>Сенькина К.А., <sup>1</sup>Лебедев М.В., <sup>2</sup>Мусатов И.В.

<sup>1</sup>ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

<sup>2</sup>ПАО «НОВАТЭК», Москва, Россия

## **Forecast of the boundaries of reservoirs of the Neocomian complex based on seismic facies modeling**

<sup>1</sup>K.A. Senkina, <sup>1</sup>M.V. Lebedev, <sup>2</sup>I.V. Musatov

<sup>1</sup>Tyumen petroleum research center LLC, Tyumen, Russia

<sup>2</sup>PAO "NOVATEK", Moscow, Russia

**E-mail: [kasenkina@tnnc.rosneft.ru](mailto:kasenkina@tnnc.rosneft.ru)**

**Аннотация.** Статья посвящена результатам работы, которая была выполнена на основе сейсмогеологического моделирования секвенсов неокомского комплекса с целью улучшения возможностей сейсмофациального анализа. Работа была выполнена для одного из месторождений Западной Сибири, приуроченном к клиноформенному комплексу неокома.

Приоритетной задачей исследования являлось повышение достоверности локализации объектов в системных трактах клиноформ нижнего мела по сейсмическим данным с целью повышения успешности поискового бурения.

Актуальность работы обусловлена тем, что нефтегазоносность севера Западной Сибири преимущественно связана с нижнемеловыми клиноформами, для которых характерна неопределенность прогноза песчаных тел в ундаформе и фондоформе. Ожидается, что результаты работы позволят повысить эффективность ГРП в условиях дефицита скважинной информации.

**Ключевые слова:** сейсмофациальный анализ, классификация, секвенс-стратиграфия, моделирование, атрибутный анализ

**Для цитирования:** Сенькина К.А., Лебедев М.В., Мусатов И.В. Прогноз перспективных объектов неокомского комплекса на основе сейсмофациального моделирования // Нефтяная провинция.-2023.-№4(36).-С. 39-52. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.4.39-52>. - EDN CWRHUF

**Abstract.** The article is devoted to seismic geological modeling of sequences of the Neocomian complex in order to improve the efficiency of seismic facies analysis. The work was performed for one of the fields in Western Siberia.

The priority task was to increase the efficiency of reservoir localization in the systemic tracts of the Lower Cretaceous clinofolds. The purpose is to increase the success of exploratory drilling.

The relevance of the work is due to the fact that the oil and gas potential of the north of Western Siberia is associated mainly with Lower Cretaceous clinofolds, where there is uncertainty in the forecast of reservoirs. The results of the work will improve the efficiency of geological exploration in fields where there is a lack of well information.

**Key words:** *seismic facies analysis, classification, sequence stratigraphy, modeling, attribute analysis*

**For citation:** K.A. Senkina, M.V. Lebedev, I.V. Musatov Prognoz perspektivnykh ob"yektov neokomskogo kompleksa na osnove seysmofatsial'nogo modelirovaniya [Forecast of the boundaries of reservoirs of the Neocomian complex based on seismic facies modeling]. Neftyanaya Provintsiya, No. 4(36), 2023. pp. 39-52. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2023.4.39-52>. EDN CWRHUF (in Russian)

## Введение

Проблема детального прогнозирования межскважинного пространства существует практически на всех месторождениях находящихся на стадии поисковых работ. Особенно актуальной данная проблема является для неокомского комплекса Западной Сибири. Для уменьшения неоднозначности геологической интерпретации сейсмических данных разработано и используется множество различных математических алгоритмов, позволяющих выделить необходимую информацию из массива данных. В качестве таких инструментов рассматривались объемный и послойный атрибутивный анализ, а также алгоритм самоорганизующихся карт Кохонена, на которых построен сейсмофациальный анализ. По результатам синтетического волнового моделирования проводилась оценка возможностей и ограничений при прогнозе перспективных объектов неокомского комплекса на основе сейсмофациального анализа.

Работа была организована следующим образом:

1. Задание концептуальной модели набора секвенсов неокома типичных для севера Западной Сибири вертикальной последовательностью системных трактов (что в пространстве выражается в латеральной последовательностей фаций)
2. Подбор упругих параметров фаций по скважинным данным
3. Расчёт синтетического волнового поля
4. Прогноз фаций по синтетическому волновому разрезу
5. Оценка достоверности прогноза фаций по данным сейсмофациального анализа

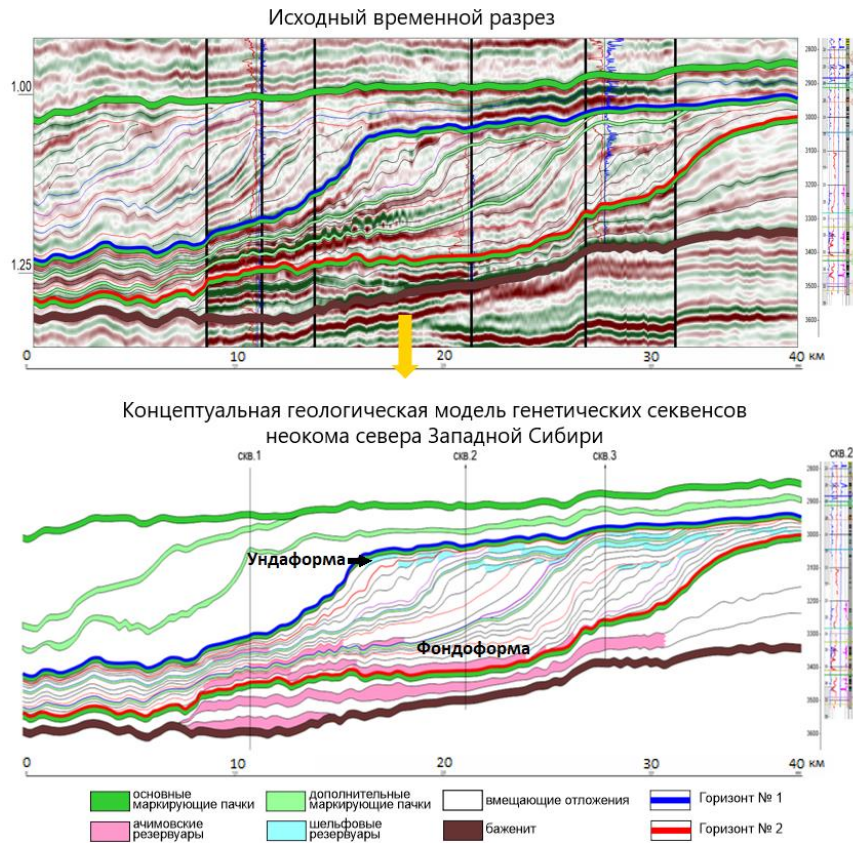
### **Основная часть**

#### **Создание концептуальной геологической модели**

Для создания упругой слоистой сейсмогеологической модели была построена концептуальная геологическая основа по результатам секвенс-стратиграфической классификации одной из площади севера Западной Сибири (Рис. 1).

Исходным положением секвенс-стратиграфии является неразрывная связь секвенций с колебаниями относительного положения уровня моря.

Наиболее перспективные это верхняя и нижняя части клиноформы: ундаформа и фондоформа. Донные отложения ачимовских толщ формируются в условиях падения уровня моря в тракте низкого стояния. На рис. 1 они выделены розовым цветом. В ундаформе присутствуют прибрежно-морские песчаники, формирующиеся на всех этапах образования клиноформы. Они отмечены голубым цветом.



*Рис. 1. Создание концептуальной геологической модели генетических секвенсов неокома севера Западной Сибири*

### Создание синтетической модели

На основе концептуальной геологической модели в программном продукте Tesserat Pro были построены 3 различные сейсмогеологические модели:

1. Модель без резервуаров (фоновая)
2. Модель с резервуарами (Рис. 4 а)
3. Модель с пониженной контрастностью упругих свойств между коллектором и вмещающими породами (Рис. 4 б)

Для заполнения модели упругими свойствами (скорость и плотность) была выполнена увязка сейсмических и скважинных данных по трем разведочным скважинам, расположенным вблизи исследуемого разреза. Пластовые скорости оценивались по акустическому каротажу (Рис. 2), плотность каждого пласта рассчитывалась автоматически в программе на осно-

ве пластовых скоростей с использованием эмпирических формул. Для того чтобы избежать включение аномальных значений, скорости предварительно осреднялись (база осреднения 5 значений).

Модель №2 получена добавлением в исходную модель набора газонасыщенных песчаных тел (Рис. 4 а). Скорость в песчаных телах постоянна, разность со вмещающими глинами 300 м/с. Данное значение было взято на основе гистограммы типового распределения упругих свойств среды по месторождению-аналогу для пласта БУ17 (Рис. 3). В работе проводилось грубое деление пластов на коллектор/неколлектор. Фильтрационно-ёмкостные свойства пород в модели не учитывались.

В модели №3 (Рис. 4 б) была уменьшена контрастность упругих свойств путём осреднения, разность между песчаниками и вмещающими глинами 150 м/с. Целью построения данной модели является максимальное приближение к реальным упругим свойствам залегающих пластов.

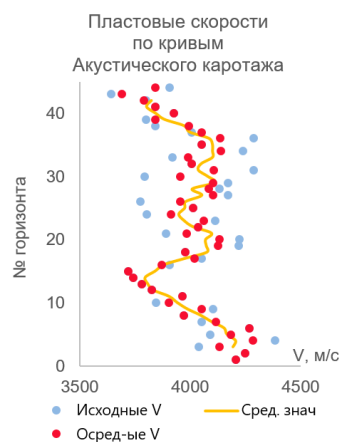


Рис. 2. График распределения пластовых скоростей

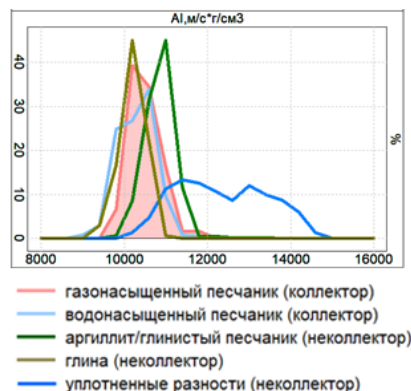


Рис. 3. Типового распределения упругих свойств среды

## **Получение синтетического временного разреза**

Расчёт волнового поля для заданной сейсмической модели (известны границы и акустические свойства пластов, импульс заданной формы) основывается на решении прямой динамической задачи.

Алгоритм расчёта синтетического разреза:

1. Построение стратиграфической модели, определяющей положение горизонтальных геологических границ.
2. Каждый пласт характеризуется акустическим импедансом, который является произведением скорости на плотность.
3. Отражающая способность границы раздела двух пластов определяется разницей акустического импеданса выше и ниже заданной границы. При этом, чем больше разница акустического импеданса, тем сильнее получится отражение от границы.
4. Выбирается форма импульса, которая остаётся неизменной в рассматриваемом интервале времени (импульс Рикера с частотой 35 Гц).
5. Распространяется фронт волны, в каждом узле сеточной модели происходит расчёт конечно-разностных уравнений.
6. Формируются трассы.

Анализируя влияние песчаных тел на полученный временной разрез, виден закономерный результат: в контрастной модели песчаники оказывают гораздо больше влияние на временной разрез, чем в модели с уменьшенной контрастностью. При этом интерференционное влияние песчаных пластов по модели №1 проявляется даже в глинистой части клиноформы, что может способствовать искажению количественного и качественного прогноза по сейсмическим данным.

## **Сейсмофациальный анализ**

Изменение динамических характеристик может быть связано с изменением литологического состава пород в пласте или изменением петрофизических свойств породы. Выделение таких литологических



неоднородностей по сейсмическим данным называется **сейсмофациальным анализом** [2].

Если провести группирование по признаку входных и выходных данных, то можно выделить три основных группы процедур сейсмофациального анализа [3]:

1. Классификация трасс по форме импульса
2. Объёмная классификация
3. Классификация набора карт, погоризонтальных и пропорциональных срезов

В программном обеспечении VisualVoxAt реализована возможность применения нейронной сети такой, как самоорганизующиеся карты Кохонена.

Самоорганизующиеся карты Кохонена – это одна из разновидностей нейросетевых алгоритмов, позволяющая решать задачи кластеризации и проецирования многомерного пространства в пространство с более низкой размерностью [4].

Объекты, подаваемые на вход – это вектора с координатами, равными значениям признаков. Выходные элементы – это вектора с координатами, равными весам связей, приходящих к ним от нейронов входного слоя.

Классификация по форме импульса проводилась по 2 горизонтам, проходящие через ундаформу и фондоформу.

Для классификации трасс по форме импульса необходимо прокоррелировать отражающие границы с минимальным сглаживанием [5], возможно использование объектно-ориентированного подхода корреляции [6]. Затем проводится поинтервальный анализ, включающий в себя подбор оптимальных параметров окна анализа.

По результатам анализа было определено, что на модели с уменьшенной контрастностью упругих свойств присутствует больше неопределённости, чем на контрастной модели. Исследование слабоконтрастной

модели позволяет оценить возможности и ограничения сейсмофациального анализа.

Для уменьшения неопределённости залегания песчаных тел в слабо-контрастной модели было применено математическое преобразование, позволяющее увеличить экстремальные значения волнового поля и оставить практически неизменными малые значения с сохранением знака амплитуд фазы:

$$y = \frac{a^3}{|a|}$$

где  $y$  – значения волнового поля после преобразований,

$a$  – исходные значения волнового поля

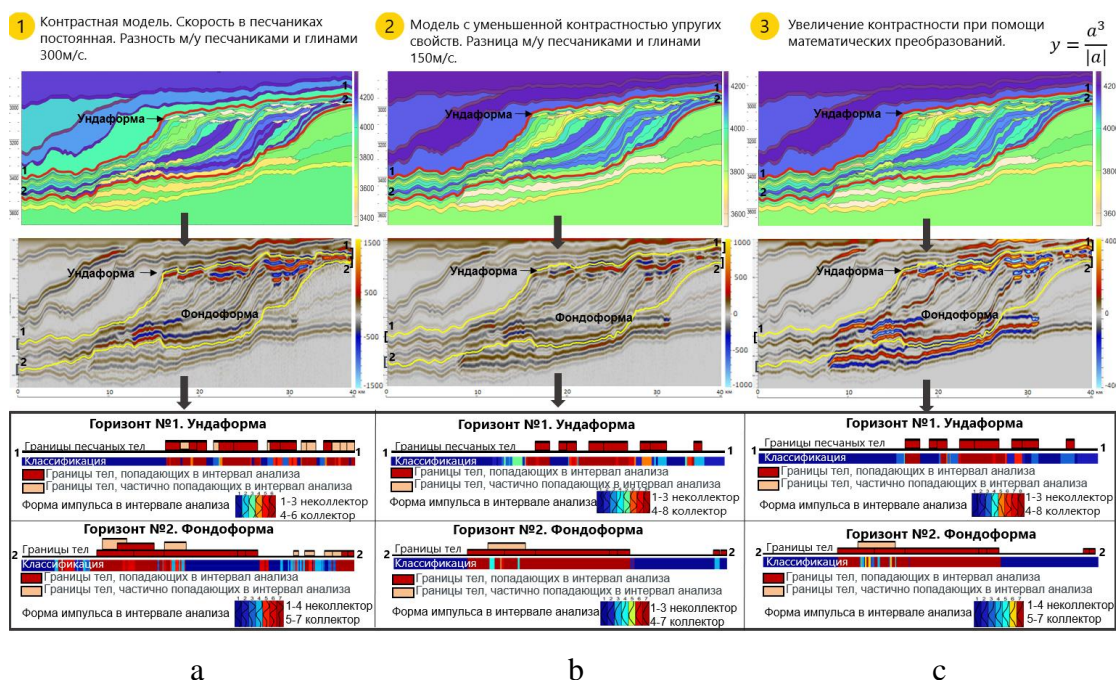
Данная операция позволяет увеличить разность между значениями упругих свойств песчаников и вмещающих пород, не изменяя их реальных свойств. Таким образом, математическое преобразование позволило уменьшить неопределённость залегания песчаных тел.

Результаты классификации контрастной модели, модели с уменьшенной контрастностью и модели после математического преобразования приведены на рис. 4. Для сопоставления полученных результатов анализа с исходными данными вынесены шкала классификации и исходные границы песчаных тел, отмеченные красным цветом. Коллектора, частично попадающие во временной интервал анализа вынесены бежевым цветом. Кроме того, на рисунке приведены формы импульса для каждого класса в исследуемом интервале. Оптимальное количество классов определялось автоматически нейросетевым алгоритмом на основе анализа формы импульса. Оценка результатов классификации проводилась на качественном уровне: коллектор, неколлектор.

Анализ контрастной модели показывает, что коллектора, имеющие большую контрастность со вмещающими толщами, оказывают влияние, даже если они частично попадают во временной интервал анализа. Это



может быть связано с интерференцией. Кроме того, последовательность песчаных тел в ряде случаев объединяется в одну общую сейсмическую фацию и не всегда имеет чёткого разделения на классы.



**Рис. 4. Сейсмогеологические модели и полученные временные разрезы с классификацией по форме импульса вдоль горизонтов № 1 и № 2.**

Стоит отметить, что важной составляющей является выбор оптимального интервала исследования. Так как при попадании импульса целиком результат анализа становится стабильней. Для устойчивого решения пластам фондоформы, в которой располагаются более протяженные песчаные тела (длина от 1 км до 9 км) с Нобщ от 500 м до 800 м, скорости варьируются от 3790 м/с до 3850 м/с, необходим интервал анализа больше, чем тонким поропластам ундаформы, в которой присутствуют небольшие песчаные тела длиной от 1 км до 3 км и Нобщ от 200 м и до 500 м, скорости от 3550 м/с и до 3800 м/с. Так, например, интервал анализа для контрастной модели в фондоформе составил 20 мс $\uparrow$  и 20 мс $\downarrow$ , а в ундаформе 10 мс $\uparrow$  и

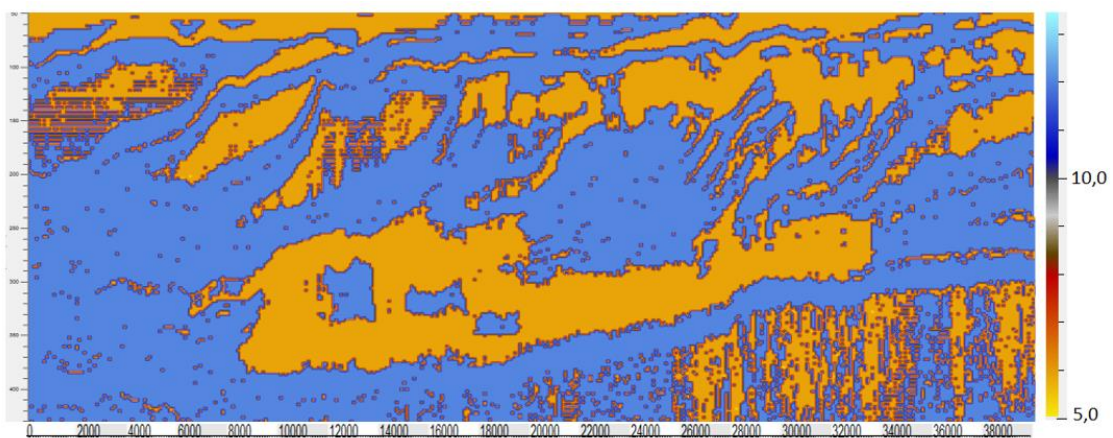
10 мс↓. Эти интервалы позволили целиком охватить яркие пятна от предполагаемых резервуаров.

Кроме того, можно заметить, что форма импульса снятая в интервале анализа вдоль горизонта № 1 более дифференцированная, чем вдоль горизонта №2. Это связано с тем, что в ундаформе происходило интенсивное изменение геологического строения. В связи с этим ундаформа менее выдержанная по сравнению с фондоформой, это отражается на временных разрезах, а следовательно и на формах импульса.

Объёмная классификация проводилась по кубам атрибутов. Для объёмной классификации необходимо только создание кубов атрибутов и выбор наилучшего сочетания их между собой.

Ключевая роль атрибутов – это подчеркивание особенностей волнового поля.

Стоит отметить, что хороший результат при многоатрибутной классификации может быть получен не только в случае использования кубов сейсмических параметров, которые наилучшим образом отражают изменения в литологии пласта, но и при участии кубов, где подобная информация не выражена явно. Так, например, атрибут Instantaneous Phase не давал явно выраженной информации, но его отсутствие значительно бы сказалось на результатах классификации (Рис. 5).

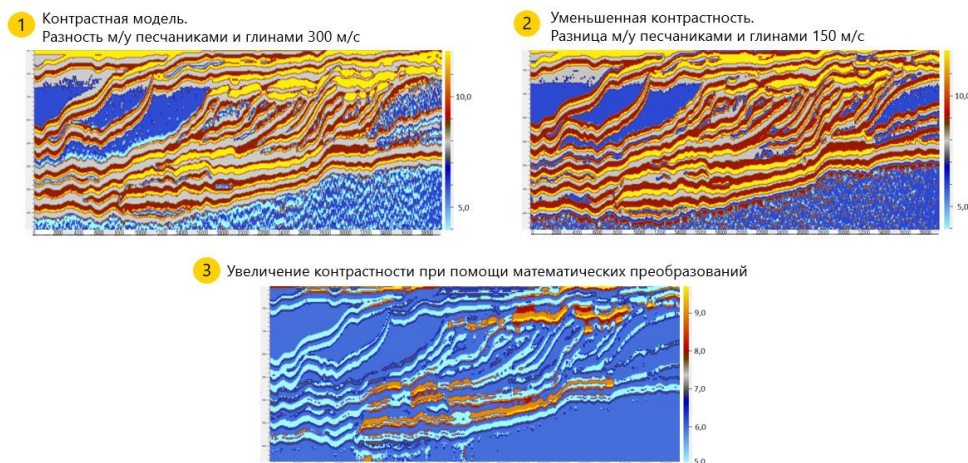


**Рис. 5. Сейсмофациальный анализ по кубу атрибутов без Instantaneous Phase**

Наиболее эффективное сочетание между собой дали атрибуты: Instantaneous Amplitude, Instantaneous Frequency, Instantaneous Phase, Instantaneous Q, Sweetness.

В данном случае, мгновенные параметры оказались наиболее чувствительными к наличию пластов малой мощности (Рис 6). Модель после математических преобразований достаточно точно показала расположение песчаных тел и их геометрические параметры по сравнению со слабоконтрастной моделью.

Стоит отметить, что объёмная классификация справилась с задачей гораздо эффективней, чем классификация по форме импульса. Это может быть связано с тем, что данная классификация не зависит от корреляции горизонтов и выбора интервала анализа.



**Рис. 6. Результаты объёмной классификации**

## **Выводы**

Создана концептуальная сейсмогеологическая модель генетических секвенсов неокома севера Западной Сибири на основе секвенс-стратиграфии по данным акустического каротажа.

По оценке возможностей прогноза границ песчаных тел было определено, что при высокой контрастности акустических свойств в фондоформе присутствует больше неопределённости по сравнению с моделью с низкой контрастностью. Это может быть связано с интерференцией.

Классификация по форме импульса не всегда позволяет точно спрогнозировать границы песчаных тел по сейсморазведке, если в интервал анализа попадают другие вышележащие или нижележащие тела. Объёмная классификация показала лучше результат, чем классификация по форме импульса, так как не зависит от корреляции и выбора интервала анализа вдоль горизонта.

Сейсмофациальный анализ позволяет прогнозировать границы песчаных тел неокомского комплекса севера Западной Сибири в условиях дефицита скважинной информации и повышает точность поискового и разведочного бурения, что даёт возможность значительно сократить количество неуспешных скважин.

**Дальнейшие шаги.** Моделирование влияния различного флюидонасыщения песчаных тел в фондоформе и ундаформе на динамические характеристики волнового поля. Оценка возможностей инверсионных преобразований на повышение качества выделения перспективных объектов. Кроме того, планируется дополнить модель вышележащими пластами и проанализировать их влияние на результаты классификации.



### Список литературы

1. Габдуллин Р.Р, Копаевич Л.Ф., Иванов А.В. Секвентная стратиграфия. М.: МАКС Пресс, 2008. 113 с.
2. Приезжев И.И., Солоха Е.В., Манрал С. Фациальный анализ по форме сейсмического сигнала // Геофизика – 2014. № 1. с. 63–67.
3. Малярова, Т.Н. Сейсмофациальный анализ как универсальное средство понимания строения резервуара // Технологии сейсморазведки, 2007. № 2. с. 79–87.
4. Кохонен, Т. Самоорганизующиеся карты. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2008. – 655 с.
5. Ольнева Т.В Сейсмофациальный анализ. Образы геологических процессов и явлений в сейсмическом изображении.
6. Ольнева Т.В., Овечкина В.Ю. Объектно-ориентированная корреляция как новый методический подход в процессе подготовки данных для сейсмофациального анализа // Геофизика / – Москва, 2016

### References

1. Gabdullin R.R, Kopaevich L.F., Ivanov A.V. Sekventnaia stratigrafiia. Moskva: MAKS Press, 2008. 113 p. (in Russian)
2. Priezzhev I.I., Solokha E.V., Manral S. Fatsial'nyi analiz po forme seismicheskogo signala // Geofizika – 2014. № 1. p. 63–67. (in Russian)
3. Maliarova, T.N. Seismofatsial'nyi analiz kak universal'noe sredstvo ponimaniia stroeniia rezervuara // Tekhnologii seismorazvedki, 2007. № 2. p. 79–87. (in Russian)
4. Kokhonen, T. Samoorganizuiushchiesia karty. – Moskva: BINOM. Laboratoriia znani, 2008. – 655 p. (in Russian)
5. Ol'neva T.V Seismofatsial'nyi analiz. Obrazy geologicheskikh protsessov i iavlenii v seismicheskom izobrazhenii. (in Russian)
6. Ol'neva T.V., Ovechkina V.IU. Obektno-orientirovannaia korreliatsiia kak novyi metodicheskii podkhod v protsesse podgotovki dannykh dlia seismofatsial'nogo analiza // Geofizika / – Moskva, 201. (in Russian)

### Сведения об авторах

*Сенькина Ксения Алихановна*, специалист отдела сопровождения ГРП - проект Гыдан, Управление ГРП - Западная Сибирь, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»  
Россия, 625048, Тюмень, ул. Максима Горького, 42  
E-mail: kasenkina@tnnc.rosneft.ru

*Лебедев Михаил Валентинович*, доктор геолого-минералогических наук, эксперт отдела сопровождения ГРП - юг ЯНАО, Управление ГРП - Западная Сибирь, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»  
Россия, 625048, Тюмень, ул. Максима Горького, 42  
E-mail: mvlebedev2@tnnc.rosneft.ru

*Мусатов Илья Владимирович*, старший эксперт отдела динамической интерпретации, Управление подготовки ресурсной базы, ПАО «НОВАТЭК»  
Россия, 625026, Тюмень, ул. 50 Лет ВЛКСМ, 53  
E-mail: ilya.Musatov@novatek.ru

## Authors

*K.A. Senkina*, Specialist, Geologic Exploration Support Department - Gydan project, Administration for Exploration - Western Siberia, Tyumen Petroleum Research Center LLC  
42, M. Gorky st., Tyumen, 625048, Russian Federation  
E-mail: kasenkina@tnc.rosneft.ru

*M.V. Lebedev*, Dr.Sc (Geology and Mineralogy), Expert, Geologic Exploration Support Department – South of YNAO, Administration for Exploration - Western Siberia, Tyumen Petroleum Research Center LLC  
42, M. Gorky st., Tyumen, 625048, Russian Federation  
E-mail: mvlebedev2@tnc.rosneft.ru

*I.V. Musatov*, Expert in Chief, Amplitude Interpretation Department, Administration for Resource Portfolio Provision, NOVATEK PJSC  
53, 50<sup>th</sup> anniversary of VLKSM st., Tyumen, 625026, Russian Federation  
E-mail: ilya.Musatov@novatek.ru

*Статья поступила в редакцию 19.09.2023*  
*Принята к публикации 20.12.2023*  
*Опубликована 30.12.2023*