

# Автоматизированный алгоритм подбора объекта-аналога на основе теории нечетких множеств

Мигманов Р.Р., Зиазев Р.Р., Галиуллин М.М.  
ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия  
rrmigmanov@tnnc.rosneft.ru

## Аннотация

Работа посвящена созданию и апробации инструмента поиска и ранжирования объектов-аналогов из базы данных разработки месторождений на основе теории нечетких множеств. Реализованный функционал позволяет выбирать задачи и целевые параметры, по которым подбираются объекты-аналоги. В алгоритме введены весовые показатели для каждой задачи соответственно, основанные на экспертном мнении и статистике. Результат работы инструмента позволяет воспользоваться существующим опытом разработки схожих объектов из базы данных и восполнить недостающую информацию.

## Материалы и методы

Выполнен анализ существующих инструментов по подбору объектов-аналогов, сформирована цифровая база данных объектов-аналогов и опрошены эксперты. Разработан алгоритм по поиску и ранжированию объектов-аналогов с использованием нечеткой

логики. Проведена апробация и оценка работы инструмента на различных месторождениях.

## Ключевые слова

подбор аналогов, нечеткая логика, разработка месторождений

## Для цитирования

Мигманов Р.Р., Зиазев Р.Р., Галиуллин М.М. Автоматизированный алгоритм подбора объекта-аналога на основе теории нечетких множеств // Экспозиция Нефть Газ. 2022. № 7. С. 15–19. DOI: 10.24412/2076-6785-2022-7-15-19

Поступила в редакцию: 25.10.2022

GEOLOGY

UDC 553.98 | Original Paper

## Automated algorithm for selecting an analogue object based on the theory of fuzzy sets

Migmanov R.R., Ziazev R.R., Galiullin M.M.  
“Tyumen petroleum research center” LLC, Tyumen, Russia  
rrmigmanov@tnnc.rosneft.ru

## Abstract

The work is devoted to the creation and testing of a tool for searching and ranking objects-analogues from the field development database based on the theory of fuzzy sets. The implemented functionality allows you to select tasks and target parameters, according to which analogous objects are selected. The algorithm introduces weight indicators for each task, respectively, based on expert opinion and statistics. The result of the tool allows you to use the existing experience in developing similar objects from the database and fill in the missing information.

## Materials and methods

The analysis of existing tools for the selection of analogue objects was carried out, a digital database of analogue objects was formed and experts were interviewed. An algorithm for searching and ranking

analogous objects using fuzzy logic has been developed. Approbation and evaluation of the tool operation at various fields was carried out.

## Keywords

selection of analogues, fuzzy logic, field development

## For citation

Migmanov R.R., Ziazev R.R., Galiullin M.M. Automated algorithm for selecting an analogue object based on the theory of fuzzy sets. Exposition Oil Gas, 2022, issue 7, P. 15–19. (In Russ). DOI: 10.24412/2076-6785-2022-7-15-19

Received: 25.10.2022

## Введение

Высокая стоимость исследований зачастую приводит к необходимости работать в условиях дефицита информации об объекте разработки. В свою очередь, объект разработки есть совокупность определенных физико-математических параметров, включающих структурные свойства породы, геолого-физические показатели продуктивных

пластов и характеристики пластового флюида. Используя вышеописанные параметры, можно математически описать степень «близости» двух и более объектов. Решение подобной задачи позволит отбирать «однотипные» объекты и использовать их в качестве аналогов для различных задач [1].

С целью восполнения недостающей информации по объектам и минимизации

трудозатрат в работе разработан автоматизированный алгоритм. Инструмент позволяет найти и ранжировать с использованием математических вычислений наиболее подходящие аналоги. Под математическими вычислениями подразумевается теория нечетких множеств, описывающая неточные свойства, а также задающая «степень принадлежности» тому или иному свойству-параметру.

Разработанный инструмент по подбору объектов-аналогов позволяет не только восполнить недостающие геологические данные, но и получить информацию по системам разработки, характеристике вытеснения, темпам падения жидкости, стартовым дебитам и результатам испытаний разведочных скважин.

Для определения объекта-аналога в инструменте реализована возможность выбора задачи подбора: для составления проектно-технического документа, выбора третичного метода воздействия, оптимизации системы разработки в рамках опытно-промышленных работ (ОПР), гидродинамического моделирования, подготовки инвестиционного меморандума.

Существующие же инструменты в полной мере выполняют главную функцию — подбор объекта-аналога. Однако в разработанном алгоритме реализованы дополнительные функции:

- возможность задать пользовательскую настройку;
- возможность выбора задачи подбора объекта-аналога;
- наличие в инструменте знаний и опыта экспертов.

### Теория нечетких множеств

В классической теории множеств принадлежность различных элементов множеству оценивается через бинарные термины — элемент либо принадлежит данному множеству, либо нет. Для нечеткой логики возможно оценивать нестрогую градуированную меру (степень) принадлежности элементов множеству: подобная оценка определяется функцией принадлежности (в пределах от 0 до 1, где 1 — строго принадлежит множеству). Функция принадлежности — это некоторый критерий нечеткости. Этот критерий может быть описан, например, за счет мнения экспертов или статистики. Четкая логика же (традиционный подход) не позволяет правильно интерпретировать неточные и некатегоричные данные [2]. Например, если между числами четкого множества возникает любое минимальное отличие, то одному из чисел присваивается уже значение 0 (не принадлежит множеству). Теория нечетких множеств призвана исправить подобную интерпретацию. Это является важным аспектом в задачах выбора аналогов, поскольку в четких множествах определить численное отличие близких, например, по геолого-физическим параметрам объектов будет невозможно.

На рисунке 1 показан вид функции принадлежности. Графику характерно следующее:

- каждому значению параметра соответствует значение функции принадлежности — степень принадлежности (например,  $\mu(A) = 0,8$ );
- ширина кривой задает критичность параметра, то есть скорость изменения. Если ширина кривой будет мала, то незначительному изменению  $X$  сопоставляется минимальное/максимальное значение принадлежности множеству;
- целевому значению соответствует максимум графика функции. Однако это не является обязательным условием.

### Методика работы алгоритма

Решением в работе является алгоритм, позволяющий по целевым параметрам и базе данных разработки месторождения математически определить наиболее «близкий» объект месторождения. Под «близостью»



Рис. 1. Один из видов функции принадлежности  
Fig. 1. One of the types of membership function

понимается степень принадлежности того или иного параметра из базы данных к целевому параметру.

На вход алгоритма подается набор целевых параметров объекта месторождения, учет которых опционален. Далее алгоритм, используя только выбранные параметры, для каждой строки и каждого параметра из базы данных рассчитывает функцию принадлежности по формулам (1) и (2):

$$\mu(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2\sigma^2}}, \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}, \quad (2)$$

где  $b$  — значение целевого параметра;  $x$  — значение параметра объекта-аналога;  $\sigma$  — среднеквадратичное отклонение

выборки по параметру из базы данных;  $n$  — количество учитываемых параметров при поиске объекта-аналога (зависит от насыщенности базы данных);  $\bar{x}$  — среднее значение по выборке из базы данных.

После чего рассчитывается итоговая оценка схожести по каждому объекту, называемая единым комплексным критерием и рассчитываемая по формуле (3):

$$C = \sum_{i=1}^n w_i \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n \mu_i^{w_i}}, \quad (3)$$

где  $w_i$  — вес  $i$ -го параметра;  $\mu_i$  — функция принадлежности  $i$ -го параметра, рассчитанная по формуле (1).

Для более точного определения объекта-аналога в инструменте реализована возможность выбора задачи подбора объекта-аналога из предложенного списка: составление проектно-технического документа,

Табл. 1. Распределение весовых показателей для задач поиска аналогов  
Tab. 1. Distribution of weight indicators for the tasks of searching for analogues

Параметр	ПЗ/ПТД*	ГДМ*	ИМ/ИПРР*	Третичный метод воздействия	Оптимизация разработки
Проницаемость	0,85	0,56	0,95	0,8	0,94
Пористость	0,82	0,95	0,25	0,67	0,32
Коэффициент песчаности	0,83	0,92	0,72	0,51	0,71
Расчлененность пласта	0,81	0,86	0,77	0,64	0,73
Динамическая вязкость нефти	0,85	0,93	0,84	0,94	0,81
Начальная температура пласта	0,51	0,71	0,12	1,00	0,11
Сжимаемость нефти	0,73	0,97	0,51	0,62	0,53
Сжимаемость воды	0,62	0,23	0,45	0,47	0,35
Сжимаемость породы	0,72	0,41	0,31	0,55	0,29

\*ПЗ/ПТД — подсчет запасов / проектно-технический документ, ГДМ — гидродинамическая модель, ИМ/ИПРР — инвестиционный меморандум / интегрированный проект развития региона.

выбор третичного метода воздействия, оптимизация системы разработки в рамках ОПР, гидродинамическое моделирование, подготовка инвестиционного меморандума и пользовательская настройка. В каждой из перечисленных выше целей распределение значений весов отлично [3]. Например, параметр «температура пласта» не важен при подготовке инвестиционного меморандума. В этом случае наличие весов в степенях функций принадлежности и совместного умножения всех функций позволяет снизить влияние при минимальном значении функции принадлежности и не оказывать влияния при максимальном значении. Такая постановка максимально учитывает важность параметров поиска и их разницу с целевыми параметрами [4].

Следует подчеркнуть, что веса для каждой задачи подобраны статистическим методом согласно экспертному мнению. Для этого проведен опрос экспертного состава, в котором было необходимо расставить весовые показатели (от 0 до 1) по их экспертному мнению для каждого параметра решаемых задач алгоритма. Дальнейшая построенная статистика по весам прописана в инструменте для всех соответствующих задач (табл. 1).

Для универсальности инструмента все целевые параметры разделены на две группы: качественные и количественные. К качественным параметрам при реализации алгоритма отнесены параметры, представленные в таблице 2. К количественным показателям относятся пористость, проницаемость, расчетенность пласта и др. (рис. 2).

Алгоритм позволяет отфильтровать по тем качественным параметрам, которые изначально выбраны перед запуском. Если принимается решение не использовать нефтегазонасыщенную провинцию или тип ловушки как целевой качественный параметр, то алгоритм не учитывает их. Важно отметить, что

Табл. 2. Качественные параметры, реализованные в алгоритме  
Tab. 2. Qualitative parameters implemented in the algorithm

№	Параметры (качественные)
1	Нефтегазонасыщенная провинция
2	Стратиграфическая принадлежность, ярус
3	Свита (стратиграфическое подразделение)
4	Группа пород
5	Обстановка осадконакопления
6	Фазовое состояние
7	Тип ловушки
8	Тип пустотного пространства
9	Аквифер
10	Система расстановки скважин
11	Соотношение добывающих/нагнетательных скважин
12	Стадия разработки месторождения
13	Режим разработки (истощение/заводнение)
14	Вид испытания
15	Продукт (нефть, газ, конденсат, вода)
16	С ГРП / без ГРП

в инструменте отсутствует предустановка качественных параметров и строгая необходимость в них при поиске объектов-аналогов отсутствует.

На данный момент алгоритм поддерживает учет более 90 параметров, включающих геологию, разработку, подсчет запасов, испытание скважин и технологические характеристики [5]. Также предусмотрена возможность применения пользовательской настройки с заданием произвольных весов и количества параметров. Дополнительно реализована функция подгрузки параметров по месторождению, позволяющая осуществить поиск и ранжирование объектов-аналогов по загруженному объекту из базы данных.

Полученный список десяти наиболее подходящих по комплексному критерию объектов-аналогов отображается на выходе. По отобранному аналогу реализована возможность просмотра процента схожести аналогов, а также значения функции принадлежности по каждому из параметров. Таблица с результатами подбора объектов-аналогов представлена на рисунке 3. По умолчанию в таблице отображаются параметры,

выбранные пользователем перед запуском алгоритма.

В инструменте предусмотрена возможность визуализации информации в виде графиков с сопоставлением параметров по аналогам (рис. 4).

С целью получения данных по подобранным объектам-аналогам добавлено пользовательское меню, которое позволяет визуализировать всю информацию, хранящуюся в базе данных, в том числе:

- характеристики вытеснения объектов-аналогов;
- темпы падения жидкости объектов-аналогов;
- результаты испытаний разведочных скважин;
- запускные показатели по новым скважинам;
- плотности сеток скважин и т.д.

### Тестирование и полученные результаты

Функционал и математический аппарат разработанного алгоритма апробированы на фактических месторождениях ООО «РН-Уватнефтегаз». При тестировании выириались близкие к фактическим целевые

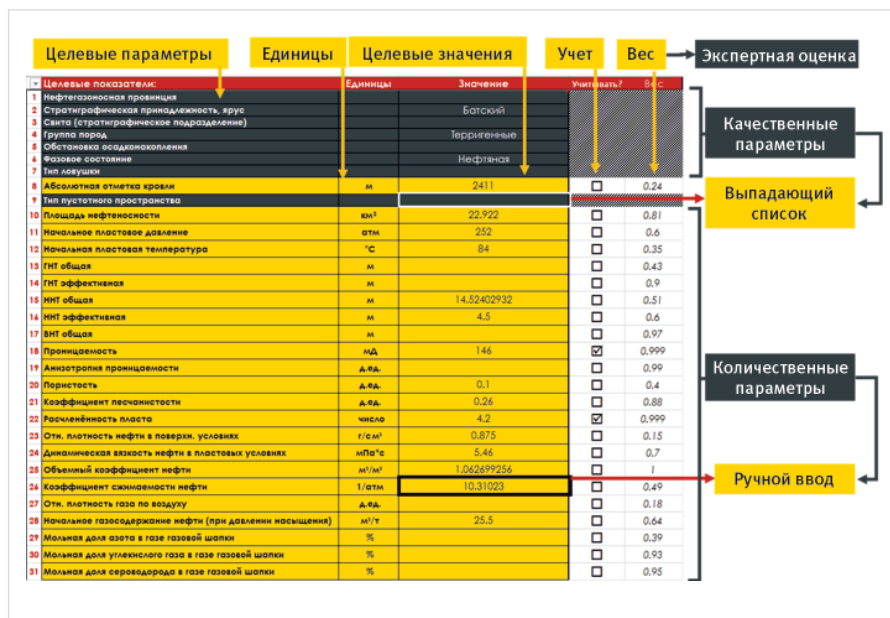


Рис. 2. Главное окно алгоритма  
Fig. 2. Main window of the algorithm



Рис. 3. Таблица с результатами поиска аналога  
Fig. 3. Table with analogue search results

значения и проверялся выходной список объектов-аналогов по составленным комплексным критериям.

Пример использования алгоритма представлен на рисунке 5. Задача поиска аналога выбрана — «подготовка инвестиционного меморандума» (необходимость в обосновании оптимальной системы разработки для нового месторождения по объекту-аналогу).

Выбранные параметры:  $K_{np} = 2,00$  мД (вес 1),  $K_p = 4,00$  (вес 0,25),  $K_{пор} = 0,16$  (вес 0,65).

В рассматриваемом примере объект-аналог № 1 имеет схожесть 98 %, т.к. проницаемость имеет достаточно близкое целевое значение, а значениям пористости и расчлененности пласта присвоены маленькие веса. При выборе объекта-аналога № 1 как основного получено проектное решение по системе разработки по данному объекту из базы данных:

- система расстановки скважин — рядная ГС;
- плотность сетки скважин — 34 га/скв.;
- расстояние между рядами — 400 м.

Также исходя из ранжированных объектов-аналогов можно получить данные по фактическим темпам падения жидкости и характеристике вытеснения с целью прогнозирования профиля добычи для рассматриваемого объекта (рис. 6).

### Итоги

В целом результаты, полученные при апробации разработанного алгоритма, соответствуют фактическим объектам-аналогам месторождений ООО «РН-Уватнефтегаз», определенным в процессе ручного поиска аналогов. Таким образом, предлагаемый алгоритм позволяет восполнить недостающую информацию по разрабатываемым объектам, а также дает возможность любому специалисту производить поиск аналогов на уровне эксперта.

### Выводы

- Результаты соответствуют фактическим объектам-аналогам, определенным в процессе ручного поиска аналогов.
- Алгоритм позволяет значительно сократить усилия и время при подборе объектов-аналогов.
- Решение задачи реализовано с применением математической теории нечетких множеств.
- Выполненная оцифровка знаний экспертов в виде весовых параметров повышает

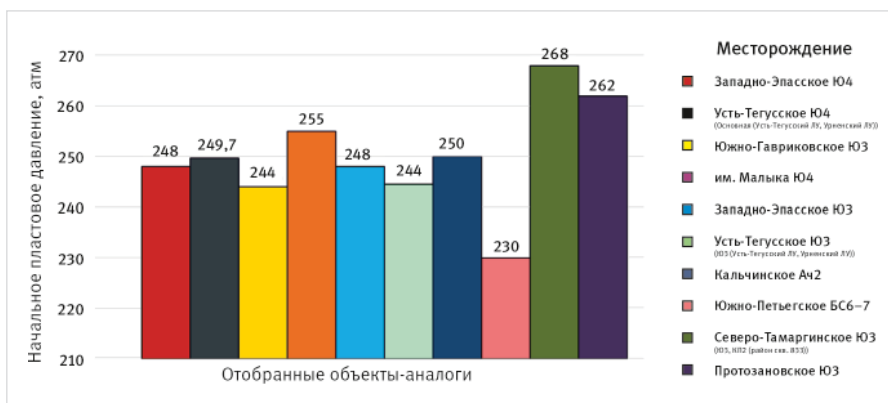


Рис. 4. Пример графика в сравнении с другими отобранными аналогами  
Fig. 4. Example of a graph in comparison with other selected analogues

Обл.	№	Целевые показатели:	Единицы	Объект исследования	РАДОНЕЖСКОЕ ЮС2	НЕМЧИНОВСКОЕ Ю4 (Ю4.1, Ю4.2)	НЕМЧИНОВСКОЕ ЮС-3	ПИХТОВОЕ ЮС
РАЗРАБОТКА	18	Проницаемость	мД	2,000	1,800	1,900	1,800	1,600
	20	Пористость	д.ед.	0,160	0,150	0,150	0,160	0,140
	22	Расчленённость пласта	число	4,000	4,000	3,000	6,000	4,000
ИТОГ:		Схожесть	%		98,1	97,4	96,7	92,6
		Учитывать аналог			<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Состояние месторождения:					Разрабатывается	Разрабатывается	Разрабатывается	Разрабатывается

Рис. 5. Пример использования алгоритма  
Fig. 5. An example of using the algorithm

точность определения объектов-аналогов и позволяет специалисту любого уровня корректно отбирать аналоги.

- Инструмент позволяет определять аналоги под задачи пользователя и при необходимости производить весовую оценку для различных параметров.

### Литература

1. Вологин И.С., Исламов Р.Р., Нигматуллин Ф.Н., Харисова А.В., Лознюк О.А. Методика выбора объекта-аналога для нефтегазовой залежи по геолого-физическим характеристикам // Нефтяное хозяйство. 2019. № 12. С. 124–127.
2. Медынская М.К. Теория нечетких множеств. Понятие нечеткого множества // Международная конференция по мягким вычислениям и измерениям. 2015. Т. 1. С. 46–48.
3. Никифоров Д.В., Глухих И.Н.

Усовершенствованный подход выбора объектов-аналогов при проектировании разработки месторождений с помощью вывода по прецедентам // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2020. № 10. С. 106–111.

4. Поднебесных А.В., Хафизов А.Р. Методика экспресс-оценки выбора объекта-аналога для залежей углеводородного сырья на основе их геологических признаков // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. № 3. С. 9–18.
5. Орлова И.О., Захарченко Е.И., Скиба Н.К., Захарченко Ю.И. Методический подход к классификации месторождений и поиску месторождений-аналогов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2014. № 12. С. 16–18.

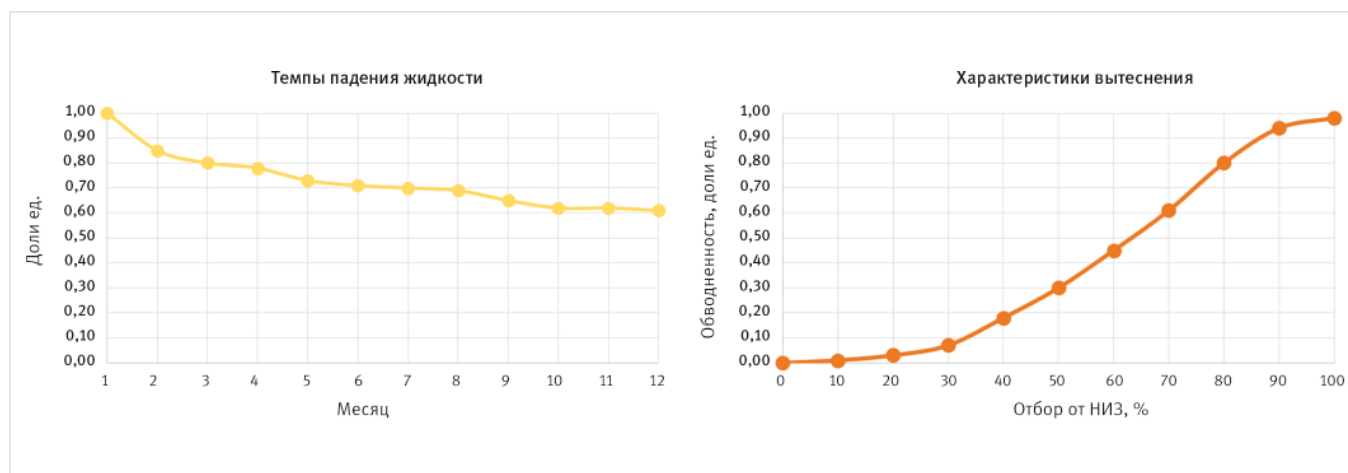


Рис. 6. Нормированные темпы падения жидкости и характеристика вытеснения объекта-аналога  
Fig. 6. Normalized rates of liquid fall and displacement characteristic of an analogue object

**Results**

In general, the results obtained during the testing of the developed algorithm correspond to the actual objects-analogues of the fields of "RN-Uvatneftegaz" LLC, determined in the process of manual search for analogues. Thus, the proposed algorithm makes it possible to fill in the missing information on the objects being developed, and enables any specialist to search for analogues at the expert level.

**Conclusions**

- The results correspond to the actual objects-analogues, determined

**References**

- Vologin I.S., Islamov R.R., Nigmatullin F.N., Harisova A.V., Loznyuk O.A. Methodology for selecting an analogous object for oil and gas reservoirs to geological and physical characteristics. Oil industry, 2019, issue 12, P. 124–127. (In Russ).
- Medynskaya M.K. Fuzzy set theory. The concept of fuzzy sets. International Conference on soft computing and measurement, 2015, Vol. 1, P. 46–48. (In Russ).
- Nikiforov D.V., Glukhikh I.N. Improved method of analogues-objects selection when designing oil and gas fields development by using case-based reasoning. Geology, geophysics and development of oil and gas fields, 2020, issue 10, P. 106–111. (In Russ).
- Podnebesnyh A.V., Khafizov A.R. Technique express estimation of analogue object for hydrocarbon reserves on the basis of their geological signs. Problems of gathering, treatment and transportation of oil and oil products, 2019, issue 3, P. 9–18. (In Russ).
- Orlova I.O., Zakharchenko E.I., Skiba N.K., Zakharchenko Yu.I. Methodical approach to fields classification and fields-analogues prospecting. Geology, geophysics and development of oil and gas fields, 2014, issue 12, P. 16–18. (In Russ).

in the process of manual search for analogues.

- The algorithm allows you to significantly reduce the effort and time when selecting an object-analogues.
- The solution of the problem is implemented using the mathematical theory of fuzzy sets.
- Digitization of expert knowledge in the form of weight parameters increases the accuracy of determining analogues and allows a specialist of any level to correctly select analogues.
- The tool allows you to determine analogues for the user's tasks and, if necessary, make a weight estimate for various parameters.

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

**Мигманов Руслан Рамилевич**, ведущий специалист, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия  
Для контактов: [rrmigmanov@tnc.rosneft.ru](mailto:rrmigmanov@tnc.rosneft.ru)

**Migmanov Ruslan Ramilevich**, leading specialist, "Tyumen petroleum research center" LLC, Tyumen, Russia  
Corresponding author: [rrmigmanov@tnc.rosneft.ru](mailto:rrmigmanov@tnc.rosneft.ru)

**Зиазев Рамиль Ришатович**, начальник отдела, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

**Ziazev Ramil' Rishatovich**, head of department, "Tyumen petroleum research center" LLC, Tyumen, Russia

**Галиуллин Марат Мугаммирович**, директор по разработке месторождений ХМАО, ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

**Galiullin Marat Mugammirovich**, director of field development KhMAO, "Tyumen petroleum research center" LLC, Tyumen, Russia

ООО «Выставочная компания  
Сибэкспосервис»

**СИБЭКС**  
SERVICE  
[www.ses.net.ru](http://www.ses.net.ru)



Одиннадцатая межрегиональная специализированная выставка

**САХАПРОМЭКСПО – 2022**

**ЯКУТСК, 26–27 октября 2022**



Семнадцатая межрегиональная специализированная выставка

**ГАЗ. НЕФТЬ. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ –  
КРАЙНЕМУ СЕВЕРУ**

**НОВЫЙ УРЕНГОЙ, 23–24 марта 2023**

+7 (383) 335 63 50  
[vk ses@gandex.ru](mailto:vk ses@gandex.ru)  
[www.ses.net.ru](http://www.ses.net.ru)

**ЭКСПОЗИЦИЯ  
НЕФТЬ ГАЗ**

Генеральный информационный партнер