

УДК 519.676/677

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА МОНТЕ-КАРЛО ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Дорогобед А.Н., Кунцев В.Е., Кожевникова П.В.

ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», Ухта,  
e-mail: [aira\\_dark@list.ru](mailto:aira_dark@list.ru)

На поисковом и разведочном этапах жизни месторождения исключительно важную роль занимает оценка достоверности геологических моделей, в итоге позволяющая определять коммерческие риски разработки проекта. Чаще всего при оценке степени достоверности построенных моделей используется стохастическое моделирование. Методы стохастического моделирования дают возможность получить репрезентативный набор данных, учитывающий неопределенность в структурных, литологических и петрофизических построениях. Основываясь на полученных данных, определяется достоверность построенной геологической модели, вероятные диапазоны разброса параметров модели, гистограммы распределения запасов, зоны повышенного риска бурения и др. Наиболее распространенным методом стохастического моделирования является метод случайных испытаний (метод Монте-Карло). В работе рассмотрен метод случайных испытаний на примере построения вариантов нечетких петрофизических моделей отношений между параметрами «пористость по ГИС» и «пористость по керну», «пористость по керну» и «остаточная водонасыщенность». Представлены результаты синтезированных данных и построенных нечетких петрофизических моделей. Результатом оценки достоверности петрофизических моделей является заключение, что построенные нечеткие петрофизические модели поглощают те возможные вариации, которые возникают в моделях за счет возможных погрешностей в исходных данных.

**Ключевые слова:** оценка достоверности, стохастическое моделирование, метод Монте-Карло, синтезирование данных, неоднородность данных, нечеткое моделирование

## THE USE OF THE METHOD OF THE MONTE-CARLO FOR MONITORING THE ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF GEOLOGICAL MODELS

Dorogobed A.N., Kuntsev V.E., Kozhevnikova P.V.

Ukhta State Technical University, Ukhta, e-mail: [aira\\_dark@list.ru](mailto:aira_dark@list.ru)

At the prospecting and exploration stages of the field's life, the assessment of the reliability of geological models plays an extremely important role, as a result, allowing to determine the commercial risks of project development. Most often, stochastic modeling is used to assess the degree of reliability of the constructed models. Stochastic modeling methods make it possible to obtain a representative set of data, taking into account the uncertainty in the structural, lithological and petrophysical constructions. Based on the data obtained, the reliability of the geological model is determined, the probable ranges of the model parameters spread, histograms of reserves distribution, zones of increased risk of drilling, etc. the Most common method of stochastic modeling is the Monte Carlo method. The paper deals with the method of random tests (Monte Carlo) on the example of constructing variants of fuzzy petrophysical models of the relationship between the parameters «GIS porosity» and «core porosity», «core porosity» and «residual water saturation». The results of synthesized data and fuzzy petrophysical models are presented. The result of the experiments is the conclusion that the constructed fuzzy petrophysical models absorb those possible variations that arise in the models due to possible errors in the original data.

**Keywords:** reliability assessment, stochastic modeling, Monte-Carlo method, data synthesis, data heterogeneity, fuzzy modeling

На поисковом и разведочном этапах жизни месторождения исключительно важную роль занимает оценка достоверности геологических моделей, в итоге позволяющая определять коммерческие риски разработки проекта.

Задача многовариантного моделирования и вероятностной оценки геологических запасов нефти: дать полноценный анализ имеющейся геологической информации и определить значимые элементы геологического строения залежей, их удельный вес при оценке запасов и масштаб относительной ошибки.

При оценке степени достоверности построение моделей и рисков бурения новых скважин на основе 3D моделирования наиболее распространены два метода [1, 2]: перекрестной оценки (cross-validation) и сто-

хастического моделирования с оценкой неопределенности (uncertainty assessment).

Методы *стохастического моделирования* дают возможность получить репрезентативный набор данных, учитывающий неопределенность в структурных, литологических и петрофизических построениях. На основании этих данных определяются достоверность построения геологической модели, возможные диапазоны разброса параметров модели, гистограммы распределения запасов, зоны повышенного риска бурения и др.

Наиболее распространенным методом стохастического моделирования является метод Монте-Карло – общее название группы численных методов, основанных на получении большого числа реализаций сто-

хастического (случайного) процесса, который формируется таким образом, чтобы его вероятностные характеристики совпадали с аналогичными величинами решаемой задачи [3–5].

Однако при работе с методом Монте-Карло трудно учесть и отразить внутренние связи между параметрами неопределённости. При работе с моделями эти связи отражаются в самом процессе моделирования и появляется возможность пространственной визуализации неопределённости в виде карт и кубов.

Цель исследования: осуществить контроль оценки достоверности построенных нечетких петрофизических моделей. Для этого проведем апробацию технологии нечеткого моделирования на различных вариантах исходных данных петрофизических зависимостей для физико-геологических параметров.

**Материалы и методы исследования**

Рассмотрим метод случайных испытаний (Монте-Карло) на примере построения вариантов нечетких петрофизических моделей отношений между параметрами «пористость по ГИС» и «пористость по керну», «пористость по керну» и «остаточная водонасыщенность».

Синтезирование новых экспериментальных данных петрофизических зависимостей для физико-гео-

логических параметров осуществляется с помощью метода случайных испытаний по заданным статистическим характеристикам (математическое ожидание, дисперсия, среднеквадратичное отклонение), соответствующим распределению исходных данных.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Для зависимости пористости по керну от пористости по ГИС статистические характеристики следующие:

– Математическое ожидание:  $MX = 6,07$ ;  $MY = 6,18$ .

– Дисперсия:  $DX = 9,5$ ;  $DY = 12,16$ .

– Среднеквадратичное отклонение:  $SX = 3,08$ ;  $SY = 3,49$ .

Новые наборы данных генерируются путем многократного повторения процедуры генерации случайных чисел по заданным характеристикам (математическое ожидание, дисперсия, интервал выборки) (рис. 1).

Полученные новые распределения данных зависимости пористости по керну от пористости по ГИС укладываются в статистические характеристики исходных данных. Отклонения между исходными данными и полученными методом случайных испытаний укладываются в 3,34% и 3,41% по X и Y для первого варианта и 3,53% и 3,42% по X и Y для второго варианта.

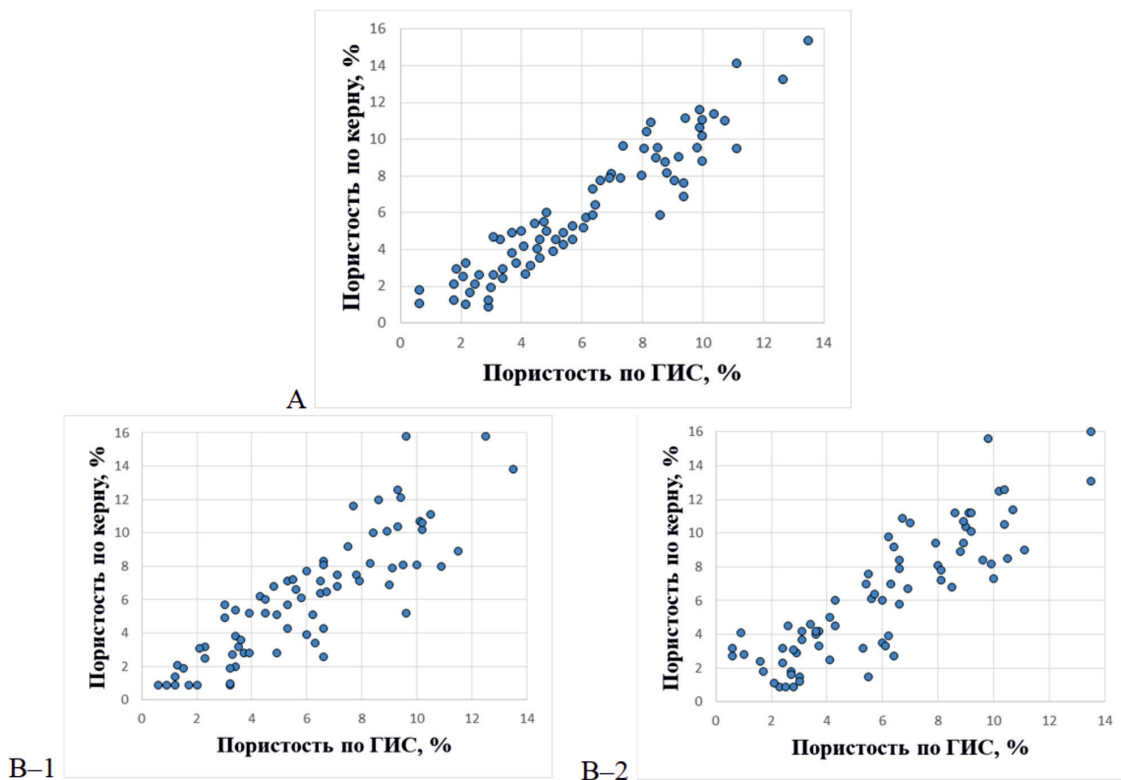


Рис. 1. Зависимость коэффициента пористости по керну от коэффициента пористости по ГИС: А – исходные данные, В-1 и В-2 – синтезированные варианты 1 и 2 методом случайных испытаний

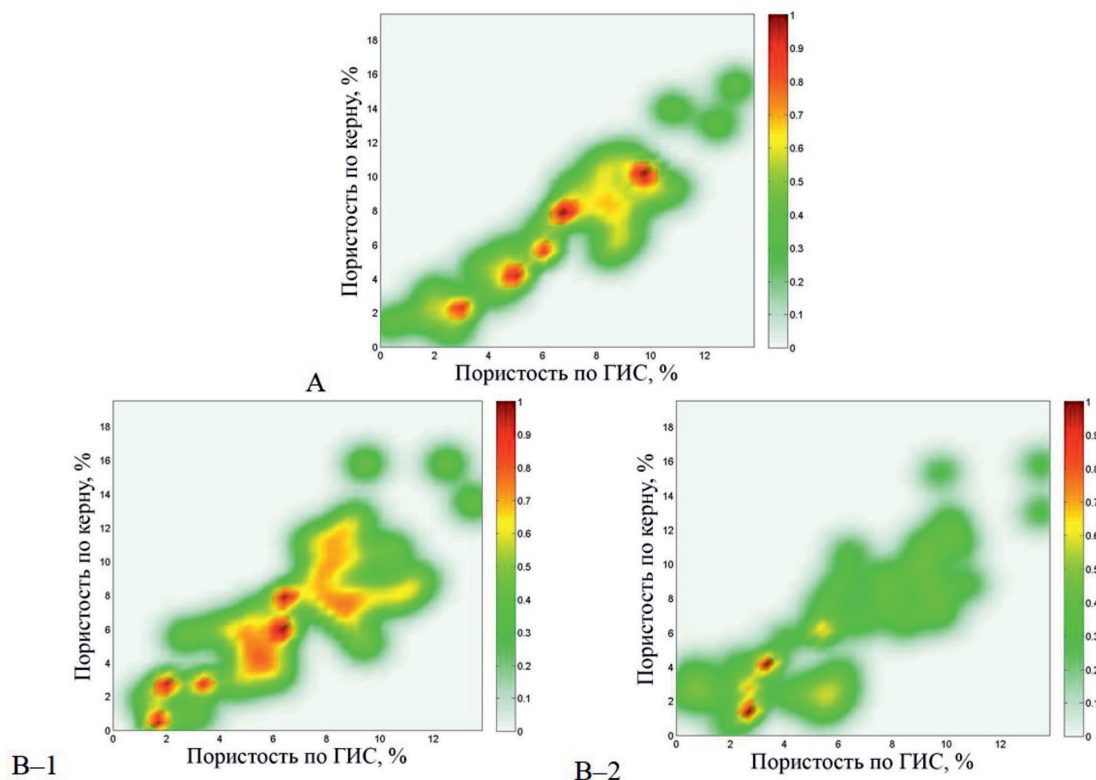


Рис. 2. Нечеткие петрофизические модели «пористость по керну – пористость по ГИС»: А – построенная по исходным данным, В-1 и В-2 – построенные по синтезированным вариантам 1 и 2 методом случайных испытаний

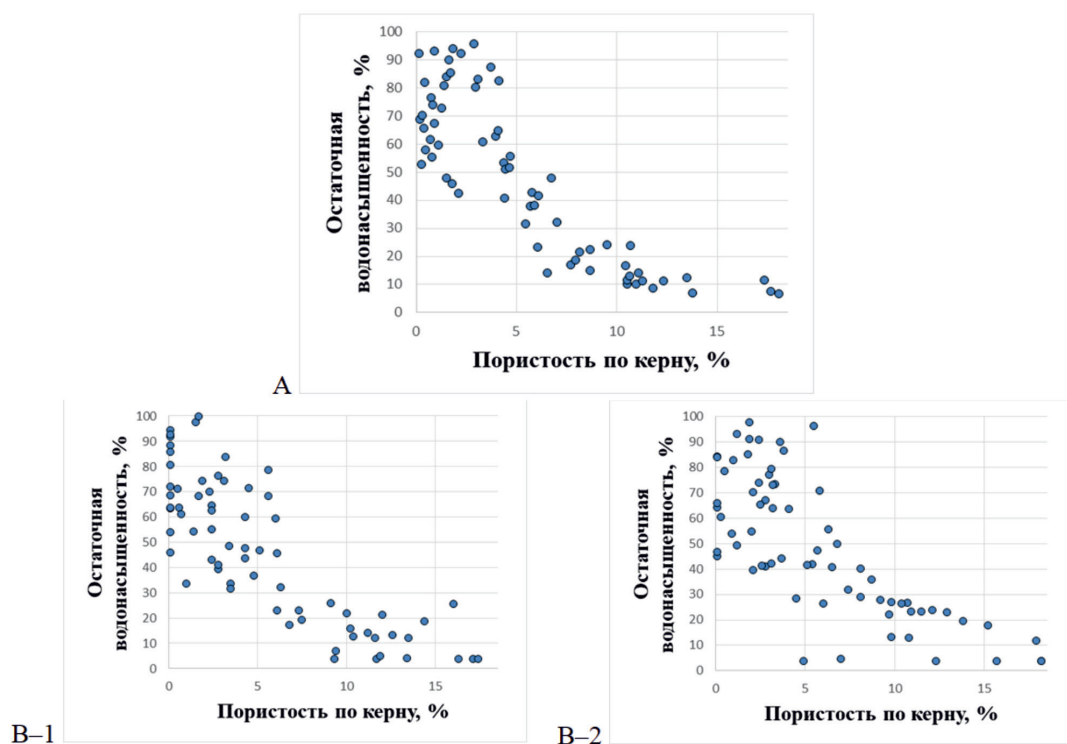


Рис. 3. Зависимость остаточной водонасыщенности от пористости по керну: А – исходные данные, В-1 и В-2 – синтезированные варианты 1 и 2 методом случайных испытаний

По исходным данным и рассчитанным новым вариантам модели построены нечеткие петрофизические модели (рис. 2).

Новые варианты синтезированных данных не несут дополнительной информации, но добавляют неопределенность в и так неоднородные данные.

Для зависимости остаточной водонасыщенности от пористости по керну статистические характеристики следующие:

– Математическое ожидание:  $MX = 5,73$ ;  $MY = 46,99$ .

– Дисперсия:  $DX = 24,43$ ;  $DY = 844,22$ .

– Среднеквадратичное отклонение:  $SX = 4,94$ ;  $SY = 29,06$ .

Новые наборы данных генерируются путем многократного повторения процедуры генерации случайных чисел по заданным характеристикам (математическое ожидание, дисперсия, интервал выборки) (рис. 3).

Полученные новые распределения данных зависимости остаточной водонасыщенности от пористости по керну укладываются в статистические характеристики исходных данных. Так же, как и для первой зависимости, отклонения между исходными данными и полученными методом случайных испытаний не превышают 5%: 4,05% и 4,28% по X и Y для первого вари-

анта и 4,07% и 4,62% по X и Y для второго варианта.

По исходным данным и рассчитанным новым вариантам зависимости остаточной водонасыщенности от пористости также построены нечеткие петрофизические модели (рис. 4).

Так же как для отношения пористости по керну от пористости по ГИС, новые варианты синтезированных данных для отношения остаточной водонасыщенности от пористости по керну не несут дополнительной информации, добавляя неопределенность в исходные данные.

Расчет взаимосвязи между параметрами пористости по ГИС и остаточной водонасыщенности реализуется через промежуточный параметр «пористость по керну». Исключение зависимых нечетких переменных при конструировании нечеткой петрофизической модели «остаточная водонасыщенность – пористость по ГИС» осуществляется путем расчета композиции Мамдани [6, 7] между нечетким отношением «пористость по керну – пористость по ГИС» и нечетким отношением «остаточная водонасыщенность – пористость по керну», где исключаящим параметром является пористость по керну. Результаты композиций для исходных и синтезированных данных представлены на рис. 5.

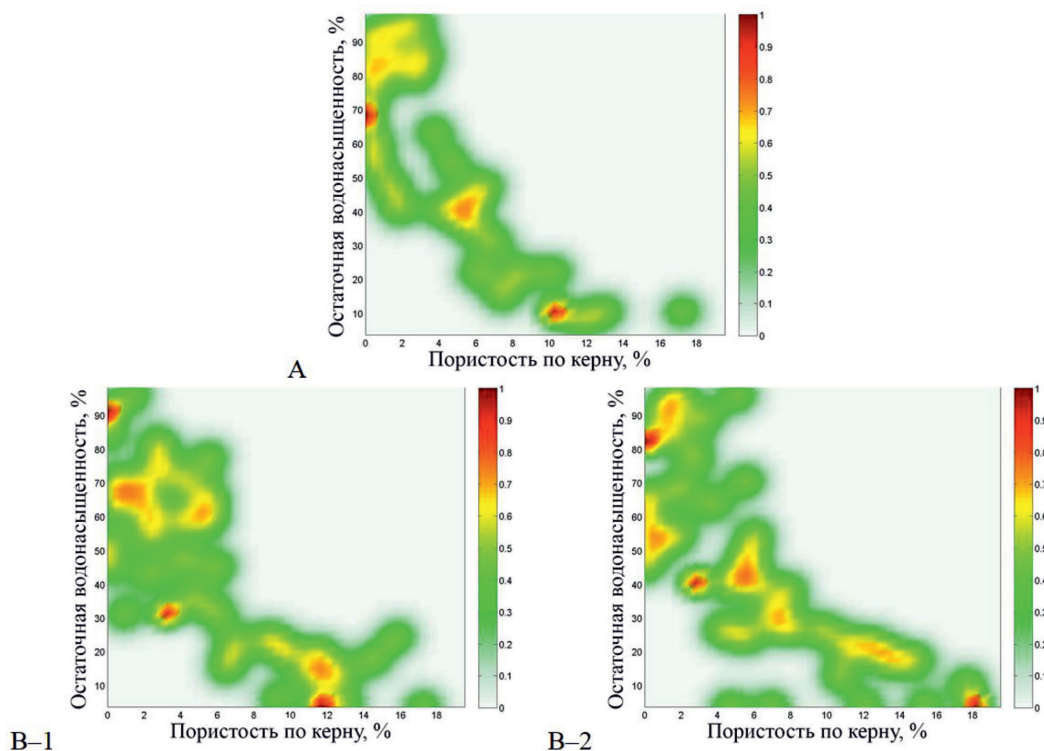


Рис. 4. Нечеткие петрофизические модели «остаточная водонасыщенность – пористость по керну»: А – построенная по исходным данным, В-1 и В-2 – построенные по синтезированным вариантам 1 и 2 методом случайных испытаний



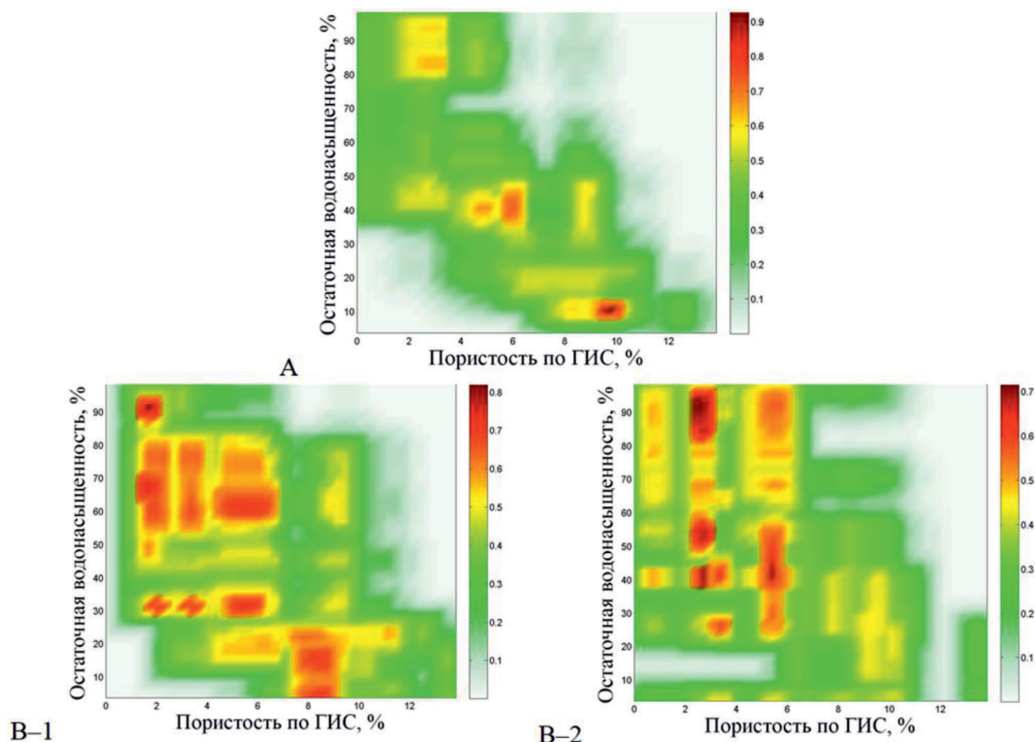


Рис. 5. Нечеткие петрофизические модели «остаточная водонасыщенность – пористость по ГИС»: А – построенная по исходным данным, В – построенные по синтезированным вариантам 1 и 2 методом случайных испытаний

### Заключение

Результатом оценки является заключение, что построенные нечеткие петрофизические модели вполне поглощают те возможные вариации, которые возникают в моделях за счет возможных погрешностей в исходных данных.

Многовариантное моделирование в геологии, на основе статистических данных, позволяет получить новые варианты геологических моделей, позволяющих оценить достоверность построенных моделей.

Результаты, полученные методами стохастического моделирования, дают новые варианты синтезированных данных, которые не несут дополнительной информации, но добавляют неопределенность в и так неоднородные данные.

### Список литературы

1. Дюбрул О. Использование геостатистики для включения в геологическую модель сейсмических данных. М.: EAGE publication, 2002. 296 с.
2. Yarus J.M., Chambers R.L. Practical Geostatistics – an Armchair Overview for Petroleum Reservoir Engineers. Journal of Petroleum Technology. 2006. vol. 58. no. 11. P. 78–86.
3. Дерюшев А.Б., Потехин Д.В. Применение многовариантного моделирования при распределении  $K_p$  с целью оценки достоверности построения трехмерных литолого-фациальных моделей на примере Нижнетиманских отложений Кирилловского месторождения // Нефтегазовое и горное дело. 2012. № 5. С. 32–38.
4. Путилов И.С. Многовариантный прогноз коллекторов по данным 3D-сейсморазведки // Технологии сейсморазведки. 2013. № 1. С. 59–64.
5. Потехин Д.В. Оптимизация технологии многовариантного трехмерного геологического моделирования залежей нефти и газа: дис... канд. тех. наук. Пермь, 2014. 151 с.
6. Кобрунов А.И., Дорогобед А.Н., Кожевникова П.В. Метод нечеткого логического вывода и информационная обеспеченность результатов моделирования в нефтегазовой геологии // Геоинформатика. 2016. № 2. С. 35–40.
7. Кобрунов А.И., Дорогобед А.Н., Кожевникова П.В. Элементы информационной экспертизы результатов геологического моделирования в нефтегазовой геологии // Геофизика. 2017. № 1. С. 16–21.