

УДК 004.9:519.676/.677

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ПЕРЕКРЕСТНОЙ ОЦЕНКИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ГЕОЛОГИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

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

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

С целью получения полноценного анализа имеющейся геологической информации и определения значимых элементов геологического строения залежей используется многовариантное моделирование и выполняется расчет оценки достоверности построения геологических моделей. Одним из наиболее распространенных методов оценки достоверности является метод перекрестной оценки. Метод перекрестной оценки («выколотой скважины») заключается в последовательном исключении скважин из набора, использовавшегося при построении модели, и оценке погрешности построения модели в точках скважин. В статье приведены эксперименты на примере построения нечетких петрофизических моделей отношений между параметрами «пористость по керну» и «проницаемость по керну», которые заключаются в многократном построении нечеткой петрофизической модели с последовательным исключением данных по скважине из набора исходных данных. Результаты проведенных экспериментов показывают, что исключение какой-либо скважины при оценке достоверности нечеткого отношения между измеренными петрофизическими параметрами не вносит каких-либо существенных изменений в общую картину, так как нечеткая петрофизическая модель сохраняет структуру. На этом основании в статье сделан вывод, что метод перекрестной оценки доказывает адекватность применения технологии нечеткого моделирования при прогнозе параметров нефтегазоносности.

**Ключевые слова:** оценка достоверности, метод перекрестной оценки, «выколотая скважина», неоднородность данных, нечеткое моделирование

## THE USE OF THE METHOD OF THE CROSS-EVALUATION FOR MONITORING THE ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF GEOLOGICAL MODELS

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

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

In order to obtain a full analysis of the available geological information and to determine the significant elements of the geological structure of the deposits, multivariate modeling is used and the calculation of the reliability of geological models is performed. One of the most common methods of assessing reliability is the method of cross-estimation. The method of cross-estimation («well gouged») consists in the sequential exclusion of wells from the set used in the construction of the model, and the estimation of the error in the construction of the model at the points of wells. The article presents the experiments for evaluating the fuzzy petrophysical models of the relationship between the parameters of «core porosity» and «permeability cores», which are repeated in the construction of fuzzy models with the consistent exception of data on the object from a set of source data. The results of the experiments show that the exclusion of any well in the assessment of the reliability of the fuzzy relationship between the measured petrophysical parameters does not make any significant changes in the overall picture, as the fuzzy petrophysical model retains the structure. On this basis, the article concludes that the method of cross-estimation proves the adequacy of the application of fuzzy modeling technology in the prediction of oil and gas parameters.

**Keywords:** assessment of reliability, cross-method evaluation, «punctured hole», the heterogeneity of data, fuzzy modeling

С целью получения полноценного анализа имеющейся геологической информации и определения значимых элементов геологического строения залежей используется многовариантное моделирование и выполняется расчет оценки достоверности построения геологических моделей.

Одним из наиболее распространенных методов оценки достоверности является метод перекрестной оценки [1, 2].

При оценке достоверности построения модели методом *перекрестной оценки* (cross-validation) выполняется процесс многократного построения модели с последовательным исключением скважин из набора исходных данных при сохранении всех остальных настроек неизменными. Таким

образом, в районе отсутствующих («выколотых») скважин изменяются структурный каркас пласта, распределения литофаций и петрофизических свойств. Поверхности флюидных контактов, как правило, не изменяются. В качестве базового варианта используется вариант построения модели со всеми скважинами [3, 4].

По результатам расчетов могут быть построены, например, карты ошибок структурного каркаса и величин ошибок нефтенасыщенных толщин в скважинах, характеризующие достоверность построения модели.

Изменяя настройки алгоритмов расчета при построении модели и при последующей перекрестной оценке достоверности

(например, величины радиуса вертикальной и горизонтальной вариограмм при расчете куба литологии), рассчитываются различные базовые варианты модели и различные величины ошибки прогноза модели.

Таким образом, получаемые методом перекрестной оценки величины ошибки прогноза модели являются в определенной степени субъективными, поскольку характеризуют достоверность построения модели при заданных геологом настройках алгоритмов расчета и существующей расстановке скважин.

Цель исследования: осуществить контроль оценки достоверности построенных нечетких петрофизических моделей. Для этого проведем апробацию технологии нечеткого моделирования при последовательном исключении скважин из набора, использовавшегося при построении модели, и оценим погрешность построения модели.

#### Материалы и методы исследования

Рассмотрим метод перекрестной оценки на примере построения нечеткой петрофизической модели отношения между параметрами «пористость по керну» и «проницаемость по керну». Измеренные данные отношения были получены по трем скважинам.

#### Результаты исследования и их обсуждение

В качестве исходных данных использовались геолого-геофизические данные, полученные по трем скважинам Тимано-

Печорской нефтегазоносной провинции (рис. 1). Данные используются для построения нечетких петрофизических моделей «пористость по керну – проницаемость по керну».

Построение нечетких петрофизических моделей (функций принадлежности) выполняется по формуле

$$\mu_{\mathfrak{A}}(s) = \frac{\mathfrak{A}^{\varepsilon}(s)}{\max_x [\mathfrak{A}^{\varepsilon}(s)]},$$

где  $s$  – исходные данные  $\{K_n, K_{np}\}$ ,  $\mathfrak{A}^{\varepsilon}(s)$  – поле рассеяния, которое рассчитывается по формуле

$$\mathfrak{A}^{\varepsilon}(s) = \frac{1}{\zeta \sqrt{2\pi}} \sum_{k=1}^K \varphi(h^k) e^{-\left[\frac{h^k - s}{2\zeta^2}\right]^2},$$

где  $h^k$  – координаты расположения источников,  $\varphi(h^k)$  – значения источников,  $\zeta$  – значение эффективного параметра рассеяния, которое влияет на размытие функций принадлежности.

Поле рассеяния должно удовлетворять неравенству

$$\max_{\Delta S \in S} |\mathfrak{A}^{\varepsilon}(s) \Delta S - \mathfrak{A}(\Delta S)| \leq \varepsilon,$$

где  $\varepsilon$  – заданный уровень погрешности.

Более подробно методика расчета нечетких петрофизических моделей рассмотрена в работах [5, 6].



Рис. 1. Исходные данные отношения «пористость по керну ( $x$ ) – проницаемость по керну ( $y$ )», полученные по трем скважинам. Точками обозначены значения одновременно измеренных параметров, красной линией – линейная регрессия для исходных данных

Результаты построения нечеткой петрофизической модели по данным всех скважин одновременно измеренных значений параметров пористости по керну и проницаемости по керну представлены на рис. 2.

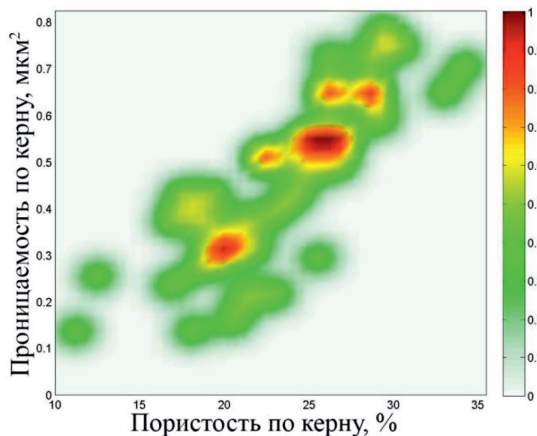


Рис. 2. Нечеткая петрофизическая модель «пористость по керну – проницаемость по керну» по данным всех скважин. Здесь и далее цветовая палитра отображает уровень достоверности

Построенная нечеткая петрофизическая модель «пористость по керну – проницаемость по керну» по данным всех скважин имеет нерегулярную форму и характеризуется значительным разбросом данных, в котором два диапазона данных обладают значительно высокой достоверностью (от 0,8 до 1), в остальном данные имеют среднюю и низкую достоверность.

При построении нечеткой петрофизической модели «пористость по керну – проницаемость по керну» было выбрано оптимальное значение эффективного параметра ( $\zeta = 1,5$ ), которое сохраняется при расчете последующих вариантов модели. Сетка, на которой было выполнено построение нечеткой петрофизической модели, также сохраняется для всех вариантов модели.

Далее был выполнен процесс многократного построения модели с последовательным исключением скважин из набора исходных данных [7, 8]. На рис. 3 представлены результаты построения нечеткой петрофизической модели с последовательным исключением скважин из набора исходных данных.

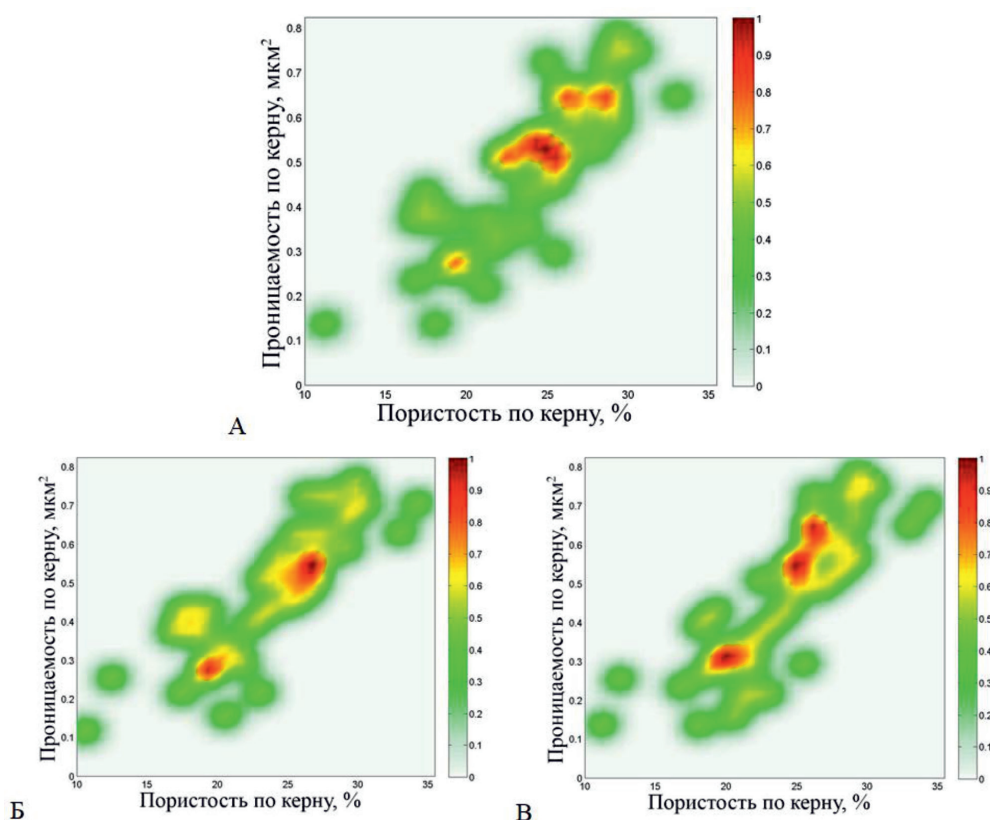


Рис. 3. Нечеткая петрофизическая модель «пористость по керну – проницаемость по керну»: А – построенная по данным 2-й и 3-й скважин; Б – построенная по данным 1-й и 3-й скважин; В – построенная по данным 1-й и 2-й скважин

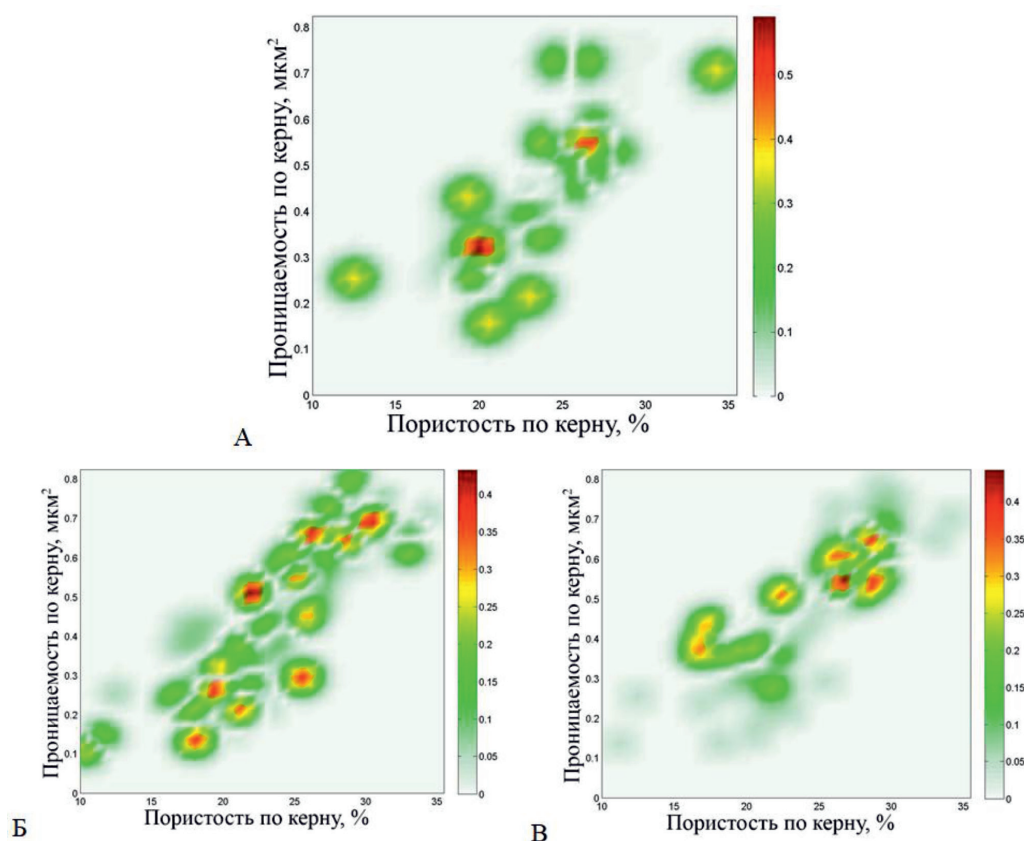


Рис. 4. Ошибка построения нечетких петрофизических моделей относительно модели, полученной с использованием данных по всем скважинам: А – при исключении 1-й скважины; Б – при исключении 2-й скважины; В – при исключении 3-й скважины. Цветовая палитра отображает расхождение в уровне достоверности нечетких петрофизических моделей

Как и нечеткая петрофизическая модель «пористость по керну – проницаемость по керну», построенная по данным всех скважин, нечеткие петрофизические модели, построенные с исключением скважин из набора исходных данных, имеют нерегулярную форму и характеризуются значительным разбросом данных, в котором два диапазона данных обладают значительно высокой достоверностью (от 0,8 до 1), в остальном данные имеют среднюю и низкую достоверность.

Затем были рассчитаны ошибки построения нечетких петрофизических моделей при исключении скважин относительно нечеткой петрофизической модели, рассчитанной по данным всех скважин. Рассмотрим карты ошибок при поочередном исключении всех скважин (рис. 4).

Так как большое количество измеренных данных было получено именно с 1-й скважины, ошибка построения нечеткой петрофизической модели «пористость по керну – проницаемость по керну», рассчитанной по

данным 2-й и 3-й скважин, относительно модели, полученной с использованием данных по всем скважинам, существенна, но максимум не достигает 60%.

Со 2-й скважины было получено наименьшее количество данных, но примерно сопоставимое с количеством данных, полученных с 3-й скважины. По данной причине максимумы на картах ошибок построения нечетких петрофизических моделей при исключении 2-й и 3-й скважины меньше, чем на карте ошибок при исключении 1-й скважины.

### Заключение

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

Результаты проведенных экспериментов на основе методов перекрестной оценки показывают, что исключение какой-ли

бо скважины при оценке достоверности нечеткого отношения между измеренными петрофизическими параметрами не вносит каких-либо существенных изменений в общую картину. В пределах погрешностей результаты получаются теми же самыми: нечеткая петрофизическая модель сохраняет структуру (у всех вариантов нечеткой петрофизической модели «пористость по керну – проницаемость по керну» высоким значением достоверности данных обладают два диапазона, а в остальном данные характеризуются средней и низкой достоверностью).

Таким образом, результаты, полученные методом перекрестной оценки, доказывают устойчивость разработанных методов технологии нечеткого моделирования при прогнозе параметров нефтегазонасыщенности по отношению к вариациям входных данных в пределах фиксированных схем рассеяния.

### Список литературы

1. Дюбрал 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. DOI: 10.2118/103357-JPT.
3. Закревский К.Е. Геологическое 3D моделирование. М.: ООО ИПЦ «Маска», 2009. 376 с.
4. Котов В.С. Уточнение геолого-промысловых моделей залежей нефти и газа при разработке месторождений (на примере Сургутского и Краснотенинского НГР): дис... кан. г.-м. наук. Тюмень, 2010. 168 с.
5. Кобрунов А.И., Кожевникова П.В. Теоретические основы при прогнозировании параметров геологических сред в условиях неопределенности // Фундаментальные исследования. 2015. № 5–3. С. 506–510.
6. Кобрунов А.И., Дорогобед А.Н., Кожевникова П.В. Математическое моделирование нечетких петрофизических зависимостей // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 50–55.
7. Сабельников И.С., Потехин Д.В. Оценка достоверности литологического строения модели месторождения методом cross-validation и jackknife // Геология в развивающемся мире. 2014. С. 403–407.
8. Дойч К.В. Геостатистическое моделирование коллекторов. М.: Институт компьютерных исследований, 2011. 400 с.