

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАЗЛИЧНЫХ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ПЛОЩАДИ С БОЛЬШИМ ЧИСЛОМ СКВАЖИН. НА ПРИМЕРЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА GEOPLAT PRO-G (DV-GEO)

**Е. В. Ковалевский**

---

ООО «ГридПоинт Дайнамикс»  
Москва, Россия  
e-mail: [e.kovalevskiy@gpd.email](mailto:e.kovalevskiy@gpd.email)

Рассматривается задача интерполяции скважинных данных о свойствах природного резервуара нефти и газа. Ее главная трудность в том, что результат должен соответствовать не только скважинным данным, но и некоторым дополнительным критериям, таким как вариограммы и гистограммы. В широком смысле результат должен соответствовать нашим знаниям о процессах формирования геологической среды. Автора интересуют возможности, которые в этом контексте предоставляют разные стохастические методы: последовательное гауссовское моделирование (SGS), метод многоточечной статистики (MPS), реализации нечеткой модели.

*Ключевые слова:* природный резервуар углеводородов; интерполяция свойств; геостатистические методы; нечеткая геологическая модель.

## A COMPARATIVE ANALYSIS OF GEOSTATISTICAL METHODS FOR A FIELD WITH A LARGE NUMBER OF WELLS. ON THE EXAMPLE OF FACILITIES OF GEOPLAT PRO-G GEOMODELING SYSTEM (DV-GEO)

**E. V. Kovalevskiy**

---

«GridPoint Dynamics» JSC  
Moscow, Russia

This paper discusses methods for interpolating the well data that describes a hydrocarbon reservoir. The main difficulty lies in the requirement that the interpolation result should correspond not only to borehole data, but also to some additional criteria, such as variograms and histograms. In a broader sense, it should reflect our knowledge of the geological environment formation. The author is interested in what capabilities the different stochastic methods, Sequential Gaussian Simulation (SGS), Multiple Point Statistics (MPS) and fuzzy model simulation, can provide.

*Keywords:* natural hydrocarbon reservoir; property interpolation; geostatistical methods; fuzzy geological model.

В качестве пробного участка использовался фрагмент реальной площади, показанный на рис. 1. Иллюстрация представляет не только пробный участок со скважинами, но и рассчитанную по тем же скважинам трехмерную модель [1]. Последняя включает геометрический каркас в виде стопки стратиграфических поверхностей, в который вписана стратиграфическая сетка  $100 \times 100 \times 170$  (170 ячеек по Z). Также модель включает куб параметра ASP, который есть результат послойной детерминированной интерполяции методом  $1/R^2$  скважинного каротажного параметра ASP (нормированного параметра SP). Стратиграфические поверхности и куб ASP отображены в условиях палеорекострукции. Исходные каротажные кривые ASP показаны на траекториях скважин в окне вертикального слайса. Далее в работе стратиграфическая сетка меняться не будет, но будут меняться методы расчета куба ASP.

Качество интерполяции, показанной на рис. 1, очень низкое. Во-первых, она не учитывает категориальный характер среды и, соответственно, не воспроизводит исходную (двугорбую) гистограмму скважинных данных.

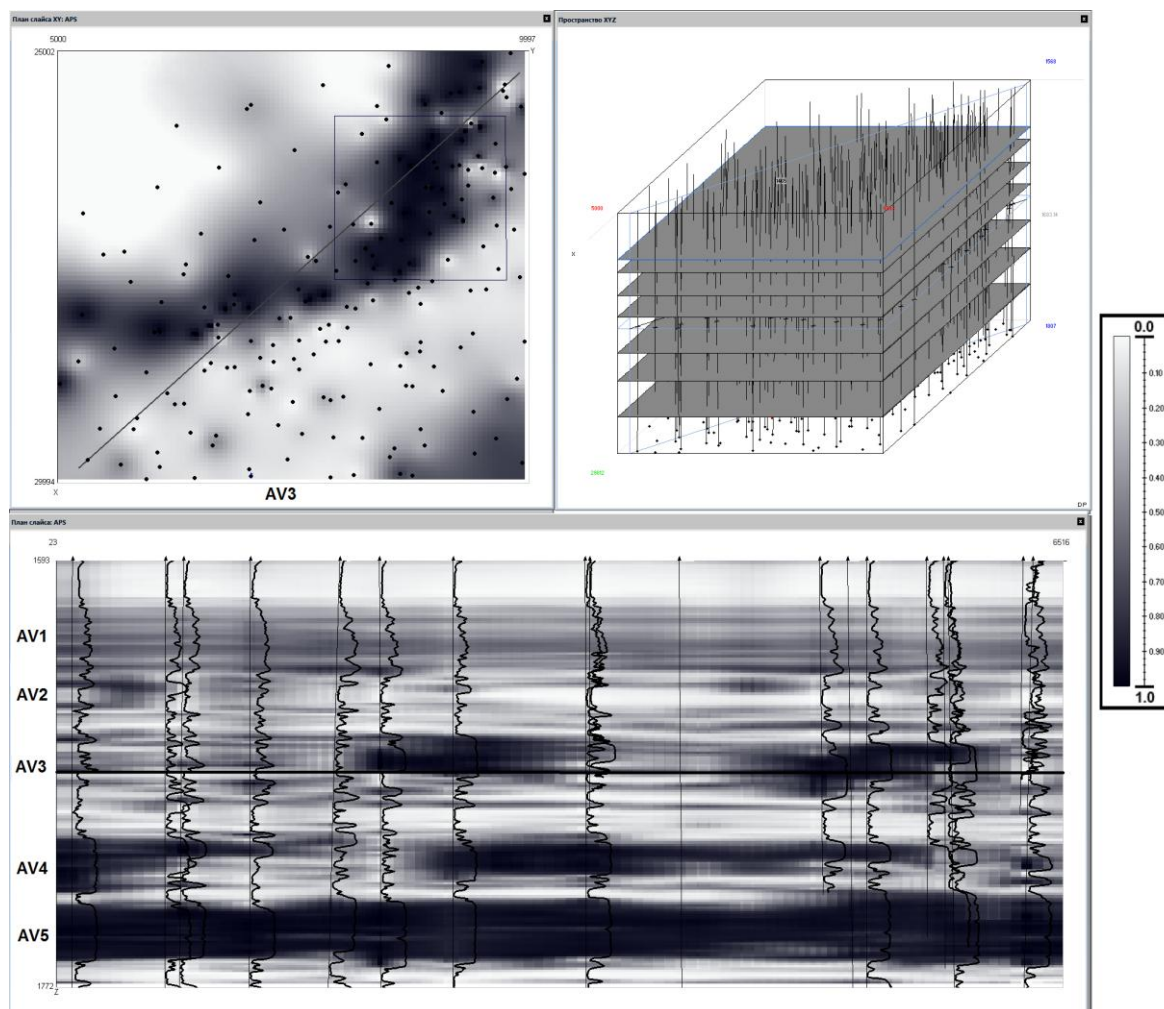


Рис. 1. Детерминированная интерполяция скважинного каротажного параметра ASP (нормированного SP). Темный цвет палитры примерно соответствует песчаникам, светлый – глинам. Вверху справа – каркас из стратиграфических поверхностей. Модель показана в условиях палеорекострукции

Во-вторых, показанная интерполяция не воспроизводит горизонтальную вариограмму скважинных данных. Горизонтальная изменчивость в кубе ASP занижена, особенно в областях с низкой плотностью скважин. Вертикальная вариограмма воспроизводится хорошо, это следствие послойной интерполяции.

Но у куба на рис. 1 есть одно достоинство. Он хорошо проявляет детерминированные особенности, заключенные в исходных скважинных данных. Так, мы сразу видим, что горизонт AV1 представляет собой неоднородный коллектор среднего качества. Что на горизонте AV3 располагается погребенное русло. И, наконец, что горизонт AV5 представляет собой сплошной массивный коллектор.

Воспроизвести в кубе ASP горизонтальную вариограмму скважинных данных можно только посредством расчета стохастических реализаций. Наиболее часто для этого применяется метод **последовательного гауссовского стохастического моделирования** (SGS). Корректное применение метода SGS требует деления среды на статистически однородные категории. Вместе с тем существует метод нормального преобразования (Normal Score, NS), позволяющий относительно корректно применять SGS в случае, когда гистограмма данных не является гауссовской [2].

Расчет методом SGS с преобразованием NS (рис. 3, фрагмент 2) показывает, что и гистограмма, и обе вариограммы скважинных данных (горизонтальная и вертикальная) воспроизводятся в объеме среды очень хорошо. Однако надо иметь в виду, что метод NS обеспечивает совпадение названных гистограмм только в общем, по всему кубу. Чтобы увидеть, что метод NS допускает серьезные ошибки, достаточно рассчитать и сравнить не общие, а локальные гистограммы (раздельно по горизонтам, раздельно по областям на плане XY).

Вторую возможность воспроизвести при интерполяции скважинных данных истинную изменчивость природной среды дает стохастическое **моделирование методом многоточечной статистики** (MPS). В качестве обучающего образа мы использовали фрагмент нашей детерминированной модели, имеющий максимальную плотность скважин. Границы фрагмента на плане XY показаны на рис. 1. Выше мы критиковали детерминированную модель, но к плотно разбуренному участку критика относится в меньшей степени. Кроме того, лучшего обучающего образа у нас нет.

Расчет был выполнен по алгоритму Direct Sampling [3, 4]. Результат расчета представляет рис. 3, фрагмент 3. Метод MPS различает области, имеющие отличные друг от друга статистические свойства, и моделирует их почти правильно. Вместе с тем на горизонте AV5 метод MPS допускает ошибку, прогнозируя (вопреки скважинным данным) разрыв сплошного коллектора.

Третью возможность воспроизвести при интерполяции скважинных данных истинную изменчивость природной среды дает расчет **стохастических реализаций нечеткой модели** [5]. Здесь алгоритм расчета реализаций нечеткой модели изменен в сторону упрощения (рис. 2). В основных чертах он повторяет алгоритм SGS. Отличие в том, что распределение параметра в точке прогноза является не одномодальным гауссовским, выведенным из кригинга, а многомодальным, нечетким, рассчитанным по некоторому числу ближайших точек данных. В нашем расчете по шести, с отбором по азимутальным секторам, из одного слоя ячеек. Точки данных берутся с весами  $1/R^2$ . Поскольку исходные данные имеют вид вертикальных колонок ячеек, в точке прогноза на плане XY тоже рассчитывается вся колонка ячеек.

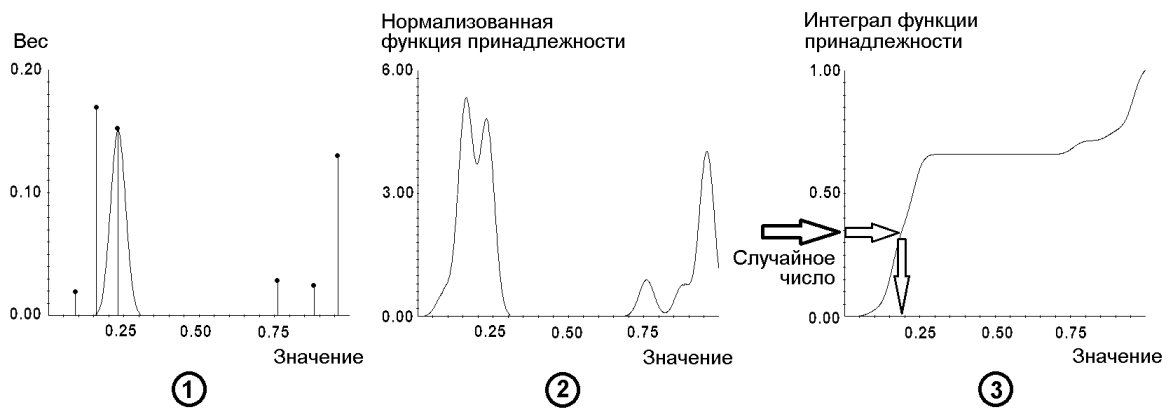


Рис. 2. 1 – значения (одно с оценкой погрешности) и веса шести точек данных, окружающих точку прогноза; 2 – нечеткое представление параметра в точке прогноза; 3 – определение значения параметра в точке прогноза

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы говорили, что детерминированная интерполяция, при всех ее недостатках (не воспроизводит гистограммы и вариограммы), хорошо отображает детерминированные черты, скрытые в исходных данных. Действительно, на рис. 3, на фрагменте 1, можно рассмотреть наличие на горизонте AV3 рядом с руслом специфичных (имеющих периодичность по вертикали) прирусловых фаций.

В то же время результат интерполяции методом SGS (рис. 3, фрагмент 2) никаких следов указанных прирусловых фаций не содержит. Они стертые. Реализации метода SGS «стерильны» в отношении всех тех детерминированных особенностей данных, которые не были специально выделены (таких, как тренды, категории, аномальные области и т. д.). Гистограммы и вариограммы данных при этом воспроизводятся хорошо, но при условии, что они не имеют локальных отличий.

При интерполяции методом MPS (рис. 3, фрагмент 3) прирусловые фации отображаются хорошо. В целом прогноз можно назвать приемлемым (вариограммы воспроизводятся хорошо, гистограммы воспроизводятся удовлетворительно). Метод позволяет работать с нестационарными данными и нестационарным обучающим образцом. Но выбор обучающего образа является серьезной проблемой.

Результат, который дает расчет реализаций нечеткой модели, в части отображения прирусловых фаций также является хорошим (рис. 3, фрагмент 4). Данный метод показывает, что фации нельзя считать статистически однородными. Гистограммы и вариограммы скважинных данных воспроизводятся в объеме среды хорошо, даже имеющие локальные отличия. Представляется, что метод имеет большой потенциал.

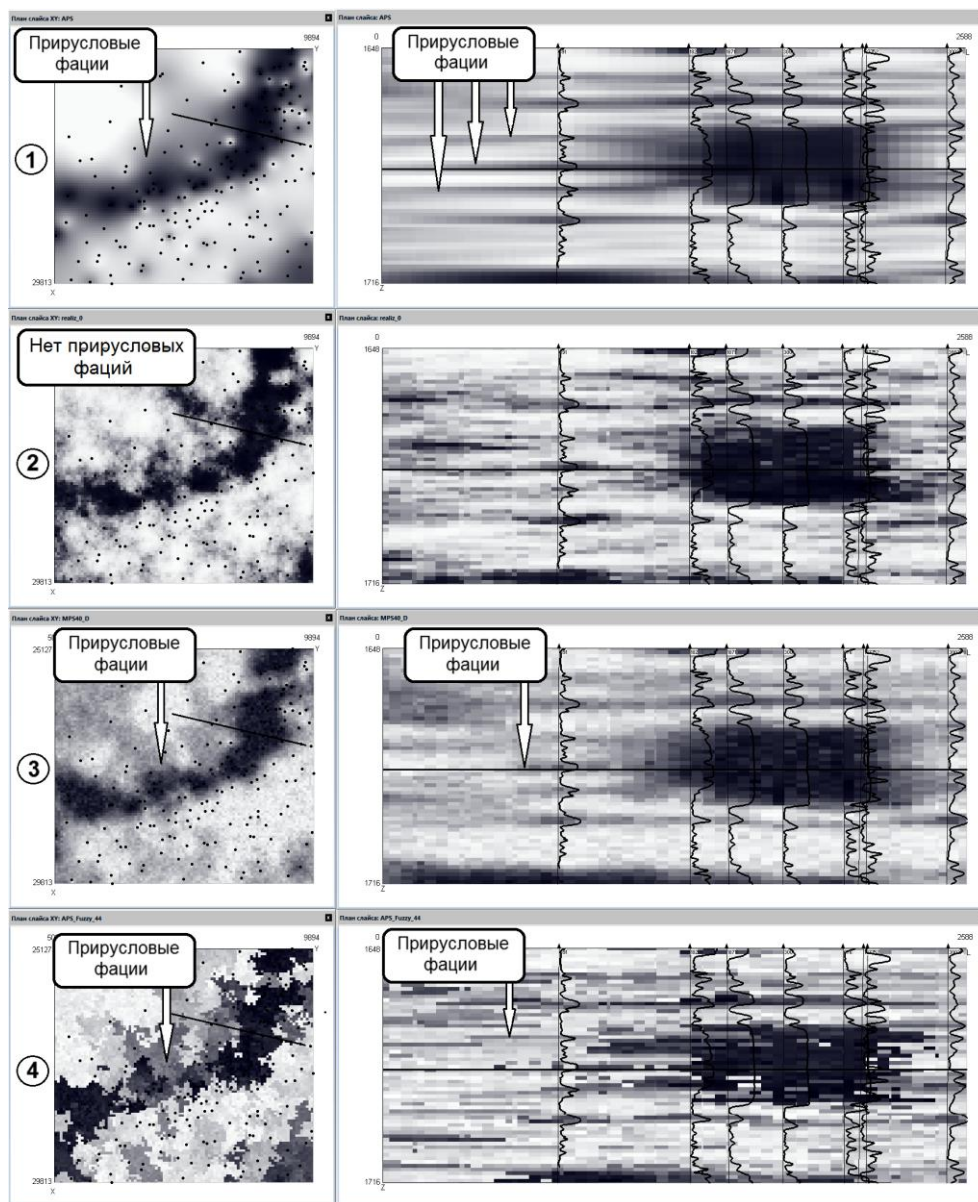


Рис. 3. 1 – детерминированная интерполяция; 2 – реализация метода SGS; 3 – реализация метода MPS; 4 – реализация нечеткой модели

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Перепечкин М. В. Технология построения геологических моделей по геолого-геофизическим данным в программном комплексе DV-Geo: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.35. Москва, 2007.
2. Deutsch C. V., Journel A. G. GSLIB: Geostatistical Software Library and User's Guide. Oxford University Press, 1998.
3. Mariethoz G., Renard Ph., Straubhaar J. The Direct Sampling method to perform multiple-point geostatistical simulations // Water Resources Research. 2010. V. 46.
4. Волкова М. С. Стохастическое моделирование на основе многоточечной статистики с применением сейсмических атрибутов в качестве обучающих образов // Геофизика. 2016. № 6. С. 68–73.
5. Kovalevskiy E. V. Fuzzy geological model: stochastic realizations preserving deterministic features of data // EAGE Conference Petroleum Geostatistics 2015. Th P13.