

## СТОХАСТИЧНА СИМУЛАЦИЯ ПРИ НЯКОЙ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКИ МОДЕЛИ НА РУДНИ НАХОДИЩА

**Светлозар Бакърджиев, Калин Русков**

*Минно-геоложки университет "Св. Иван Рилски", София 1700; zarcobak@mgu.bg; rouskov@mgu.bg*

**РЕЗЮМЕ.** Стохастическата симулация е ново и атрактивно направление в геостатистиката. Приложена е успешно при създаването на реалистични модели на природни резервоари на нефт и газ. Прилагането на симулационна техника при данни на рудни находища е затруднено от избора на вероятностен модел на описание на данните, например гаусов, логнормален, устойчив и др. Правилният избор на вероятностния модел е гаранция за адекватното симулиране на стохастичната компонента на геостатистическия модел.

Резултатите от компютърните експерименти сочат, че алтернатива на гаусовото и логнормалното разпределение е устойчивото разпределение на данните. При използване на четири или двупараметричното устойчиво разпределение се постига много добра стохастична параметризация на случайната компонента на модела. В тази работа са представени варианти на тримерни геостатистически модели със симулация на Леви, която е реализация на случайно генериране на данни по параметри на Устойчиво разпределение.

### STOCHASTICS SIMULATION AT SOME GEOSTATISTICAL MODELS IN ORE DEPOSITS

**Svetlozar Bakardjiev, Kalin Rouskov**

*University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", Sofia 1700; zarcobak@mgu.bg; rouskov@mgu.bg*

**ABSTRACT.** Stochastic simulation is new and attractive tendency in geostatistics. It has been successfully applied in the creating of realistic models for naturally oil and gas reservoirs. Execution of the simulation techniques in ore deposits data is difficult at choice of probability model of data description, for example Gaussian, Lognormal, Stable etc. The correctly choice of probability model is guaranty for accordingly simulation to stochastic component in geostatistical model.

The results of computers experiments indicate that alternative of Gaussian and Lognormal distribution is Stable distribution of data. Using four or two parametric stable distribution is accordance very good stochastic parameterization of the random component of model. In these work present variants of three dimensional geostatistical models whit Levi simulation, this is realization of random data up to parameters of Stable distribution.

Keywords: Geostatistics, 3-D simulation, Stable distribution

### Въведение

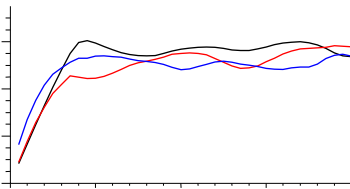
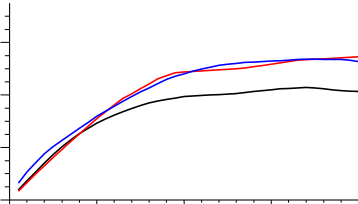
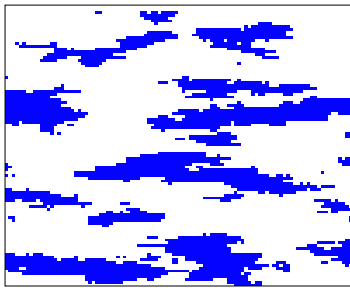
Стохастическата симулация е ново и атрактивно направление в геостатистиката. Приложена е успешно при създаването на реалистични модели на природни резервоари на нефт и газ. Прилагането на симулационна техника при данни на рудни находища е затруднено от избора на вероятностен модел на описание на данните, например гаусов, логнормален, устойчив и др. Правилният избор на вероятностния модел е гаранция за адекватното симулиране на стохастичната компонента на геостатистическия модел.

Резултатите от компютърните експерименти сочат, че алтернатива на гаусовото и логнормалното разпределение е устойчивото разпределение на данните. При използване на четири или двупараметричното устойчиво разпределение се постига много добра стохастична параметризация на случайната компонента на модела. В тази работа са представени варианти на тримерни геостатистически модели със симулация на Леви, която е реализация на случайно генериране на данни по параметри на Устойчиво разпределение.

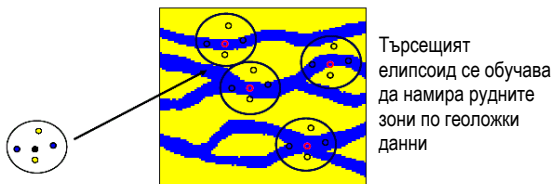
В последните десет години геостатистическата теория и практика се развива в посока на стохастичната симулация (Chiles and al., 1999; Goovaerts, 1997; Lantuejoul, 2002). Причината за това са нарастващите изисквания за геоложка и икономическа реалистичност на създаваните с помощта на геостатистиката цифрови стохастични модели (Goovaerts, 1997; Lantuejoul, 2002).

Първите стохастични симулации са свързани с моделирането на газово-нефтени резервоари, проучени на територията на щата Тексас (САЩ). В България част от резултатите бяха показани на семинар, организиран по линията на American Association of Petroleum Geologist – AAPG. Типичен резултат, демонстриран на семинара е показан на вариограмен модел в хоризонтална посока (първата от горе на долу вариограма) и вертикална посока (графиката най-отдолу) са показани на (фиг. 1).

В горната част на графиката е показан схематично изследваният обект, характеризиращ се с "линейност" в направление изток-запад. Очевидно е, че на реалистичността на модела във вертикална посока ще "пречат" изглаждащите свойства на вариограмния модел. За да се намали изглаждащото действие, се предлага следното:



Фиг. 1. Типично поведение на вариограмни модели в зависимост от морфологията или предполагаемото развитие на рудните тела



Фиг. 2. Схема на търсеция алгоритъм

А – прилага се нов алгоритъм за отсяване на наблюденията, като търсеция елипсoid (фиг. 2) следва алгоритъмът – *sn esim* (single normal equation simulation), който е описан детайлно в специализираната литература (Chiles and al., 1999; Goovaerts, 1997; Journel, 2002); В – избира се подходящ структурен, геохимичен, формационен или комбиниран геоложки модел, за който с определена вероятност се смята, че контролира наличието на полезно изкопаемо. Геометрията на модела и представящата се цифрова дискретизация се наричат “меки” (soft) данни; С – избира се адекватен на количествените, наричани още “твърди” (hard) данни, вариограмен модел и съпътстващата го корелационна структура, като в приведената по-горе по литературни данни таблица са дадени с нарастваща използваемост трите най-ползвани вариограмни модели.

| Correlation Structure | $\rho(\underline{\phi}, d)$ | $r_c$                    | $r_v$   |
|-----------------------|-----------------------------|--------------------------|---|
| Exponential           | $\exp(-\phi d)$             | $\frac{3}{\phi}$         | $\frac{3 - \log\left(\frac{\tau^2 + \sigma^2}{\sigma^2}\right)}{\phi}$        |
| Gaussian              | $\exp(-\phi d^2)$           |                          | $\sqrt{\frac{3 - \log\left(\frac{\tau^2 + \sigma^2}{\sigma^2}\right)}{\phi}}$ |
| Cauchy                | $\frac{1}{1 + \phi d^2}$    | $\sqrt{\frac{19}{\phi}}$ | $\sqrt{\frac{19\sigma^2 - \tau^2}{\phi(\tau^2 + \sigma^2)}}$                  |

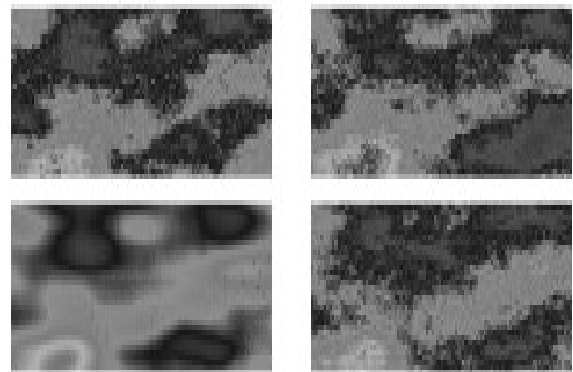
## Модификация на методиката

Базиращата се на разликата между две точки статистика на вариограмата е много слаба, за да отчете геоложките особености, например, на прожилково-впръснат тип находища, вместилища в линейни шокверки, системи от жили, пластове и други, в които в определени посоки рудните от безрудните участъци няма неизбежно да се “сливат” в модела и да порождаат нежеланото изглаждане. За да се избегне това, при симулацията се прилага специфична математическа процедура за интегриране между геоложките (soft data) и геостатистическите (hard data) данни. В случая методът Snesim се разширява с вероятностната схема, предложена от Journel (2002), където за всяка итерация се пресмята стойността на  $w$  в изведената от него зависимост:

$$\frac{x}{b} = \left(\frac{c}{a}\right)^w$$

## Резултати от компютърни експерименти

При нашите числени експерименти при  $w < 1$  за всяка точка от пространствената мрежа за симулация се намалява влиянието на геостатистическите данни върху крайната реализация, респективно се намалява ролята на чисто геоложката информация. Естествено при  $w > 1$  пропорционално се увеличава ролята на количествената геостатистическа информация. На фиг. 3 са представени двумерни варианти на реализации (в план) на един хоризонт от рудно находище, в което има установена юго-запад, североизточна вергентност на рудовместващи структури.



Фиг. 3. Компютърни експерименти с вариации на параметъра  $w$

В лявата част на рисунките е представено преобладаващото влияние на геостатистическите данни, а в дясната част е представено преобладаващото действие на геоложките данни. Симулациите са правени при едни същи количествени данни и вероятностна матрица на "меките" данни, но при различни стойности на  $w < 1$  и при  $w > 1$ , което както се вижда от рисунките, влияе съществено върху "реалистичността" на изображението.

Препоръчана за публикуване от  
Катедра "Геология и проучване на полезни изкопаеми", ГПФ

## Литература

- Chiles, J.-P., P. Delfiner. 1999. *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. John Wiley & Sons.
- Goovaerts, P. 1997. *Geostatistics for Natural Resources Estimation*. Oxford University Press.
- Journel, A. 2002. Combining knowledge from diverse sources: an alternative to traditional data independence hypotheses. – *Math. Geol.*, 34, 5.
- Lantuejoul, C. 2002. *Geostatistical Simulation: Models and Algorithms*. Springer-Verlag.