© В.А. Ермолов, Мазхар Ибрахим Сальман, А.В. Яшина, 2007

УДК 622.03:622.364

В.А. Ермолов, Мазхар Ибрахим Сальман, А.В. Яшина

К ВОПРОСУ ГЕОСТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ГЕОЛОГОПРОМЫШЛЕННЫХ ПАРАМЕТРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФОСФОРИТОВ

Семинар № 1

Статистические и геостатистические методы оценки геологических показателей при моделировании месторождений полезных ископаемых и подсчёте запасов базирующийся на обозримой математике исключительно для случаев нормального распределения случайной величины анализируемого признака. В тоже время в задачах интерполяции, оценивания и имитационного моделирования, связанных с пространственным распределением признаков в рудных месторождениях часто возникает необходимость учета ассиметрии распределения исходных данных, что позволяет более адекватно распределения исследуемых признаков.

В этой связи представляется целесообразным рассмотреть вопрос о получении несмещенных оценок при геостатистическом моделировании с использованием нелинейных нормализирующих преобразований.

Наиболее распространенный подход состоит в замене исходного признака Z на условный $Z = gZ$, распределение которого считается нормальным, затем в получении оценок на какие-либо точки или блоки пространства через весовые функции (обычно линейные) от значений Z, и наконец, возврате к исходным данным через функцию, обратимую g. Класс распределений, нормализирующихся подобными переходами и имеющих устоявшийся математический аппарат для работы с ними в настоящее время весьма широк (т.е. все те где функция g монотонна и дифференцируемая в любой точке), однако, в реальной практике обычно используется практически логнормальное распределение, нормализи-рующееся логарифмом.

Ясно, что в условиях отсутствия стандартных компенсаций смещения для случаев, отличных от логнормального, исследователь, как правило. Стоит перед илеммой – не учитывать ассиметрию нельзя, распределение данных не согласуется с логнормальным законом распределения случайной величины, хотя и весьма близко к нему, а истинный его вид установить все равно невозможно. Поэтому логнормальное распределение выступает в данном случае в качестве «достаточно хорошего и удобного приближения».

Причина этого достаточно проста – любое нелинейное преобразование под Z (линейные не убирают ассиметрии), при непосредственном применении к результатам моделирования с использованием линейных комбинаций и весовых функций, обратного преобразования $Z^* = g^{-1}(Z_i)$ неизбежно приводит к смещению оценок (вместо среднего выводит на медиану). В этой связи, использовавшийся до сравнительно недавнего времени прямой метод логарифми-

Таблица 1

Статистические характеристики геологопромышленных параметров месторождения

Показатели	Среднее арифметическое	Дисперсия	Коэффициент вариации	Асимметрия	Эксцесс
P_2O_5	23.91	4.61	8.98	0.67	1.10
IR	8.65	6.10	25.54	1.41	3.86
Cl	0.17	0.02	78.80	0.96	0.52
m	13.46	16.78	30.40	-0.60	0.42

рования и последующего возврата логарифмических оценок с компенсацией смещения в настоящее время практически не используется, поскольку чувствительность его к нарушениям данного вида распределения весьма высока. Именно, по этой причине после ухода «классической геостатистики» от логнормального моделирования потребовался другой подход к решению проблемы и данную «нишу» занял мультигауссовский подход (MG – approach).

Мультигауссовский подход заключается в вычислении весовых функций кригинга по данным, подвергшимся нормализирующему преобразованию, и приложении этих функций к нетрансформированным данным. Математически этот подход, конечно, далек от корректности, но на практике дает вполне хорошие результаты в большинстве случаев на месторождениях различных геолого-промышленных типов. При этом проблема смещения оценок просто не возникает, а трансформации можно использовать не только логарифмические, но и любые другие характерные для распределения, т.е. где функция монотонна и дифференцируема в любой точке.

Рассмотрим данный подход применительно к оценке геологопромышленных параметров месторождений фосфоритов Сирии. Основными геологопромышленными параметрами месторождений фосфоритов Сирии являются содержание P_2O_5, концентрация в рудах хлора «Cl», количество нерастворимого остатка «IR», а также мощность «m» пластов фосфоритов. Объемные модели распределения данных показателей на месторождении «Восточное» представлены на рис. 1 и рис. 2, а их статистические характеристики в табл. 1.

Анализ статистических характеристик показывает, что для P_2O_5, Cl и мощности m пласта характерен нормальный закон распределения случайной величины, а для IR логнормальный закон.

Расчет совместных статистик, характеризующих взаимосвязь показателей, показал наличие линейной связи только между мощностью залежи и IR.

Геостатистический анализ пространственной изменчивости показателей показал, что она аппроксимируется сферическими моделями изменчивости с эффектом самородков (рис. 3, 4).

Ввиду того, что для показателя IR закон распределения является отличным от нормального, для получения несмещенных оценок была выполнена нормализация исходных данных различными способами.

Результаты нормализации представлены в виде гистограмм на рис. 5 как следует из логарифмов нормализация

Таблица 2

Результаты нормализации структурных функций и оценки систематической погрешности показателя IR (мультигауссовский подход)

Нормализация	Систематическая погрешность	Коэффициент корреляции факт/прогноз	Среднеквадратичная погрешность
Никакой	0,06	0.11	0.25
Логарифм «стандартная компенсация»	0.05	0.13	0.18
Корень квадратный	0.015	0.12	0.13
Корень кубический	0.008	0.12	0.02
Корень пятой степени	0.01	0.14	0.09
Корень шестой степени	0.04	0.15	0.10

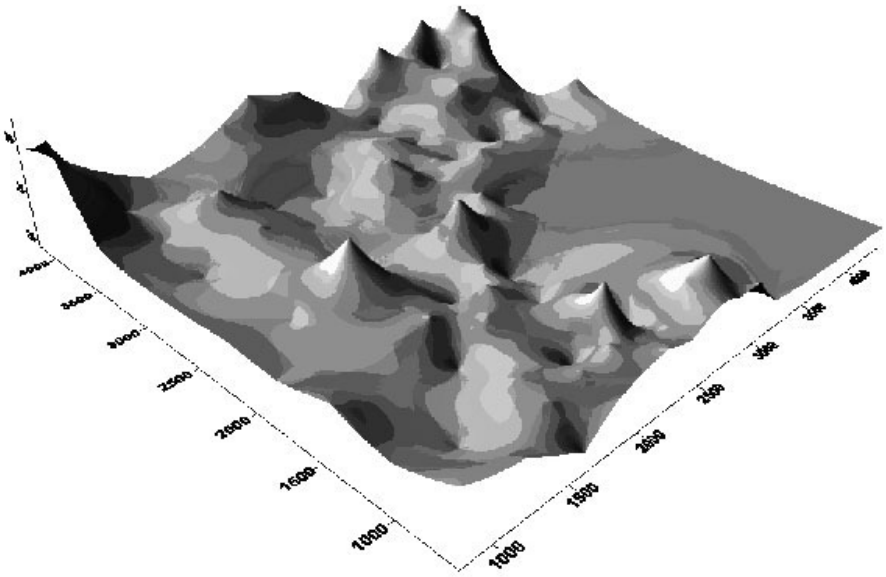
Таблица 3

Результаты нормализации структурных функций и оценки систематической погрешности P_2O_5 на Ковдорском техногенном месторождении

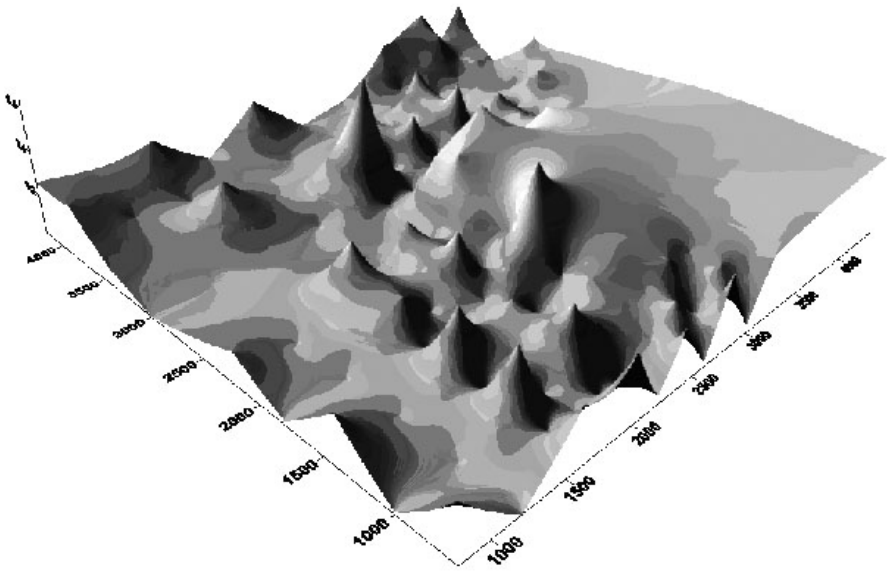
Массив (слой), показатель	Нормализация	Систематическая погрешность	Коэффициент корреляции факт/прогноз	Среднеквадратическая погрешность
+279 (P_2O_5)	Никакой	0.021	0.73	0.005
+279 (P_2O_5)	Логарифм, «стандартная компенсация»	0.13	0.81	0.201
+279 (P_2O_5)	Логарифм, мультигауссовский подход	0.020	0.74	0.003
+279 (P_2O_5)	Логарифм, адаптивная компенсация	0.0024	0.67	0.049
+279 (P_2O_5)	Корень шестой степени, мультигауссовский подход	0.019	0.79	0.0044
+279 (P_2O_5)	Корень шестой степени, адаптивная компенсация	0.019	0.83	0.0017

достигается путем преобразования исходных данных корнем кубическим.

Удовлетворительное качество мультигауссовского кригинга в данном случае можно видеть по данным перекрестного прогноза (статистика «накрываемости» и устойчивости прогнозных оценок на точку опробования, полученные без учета их в расчете). Для показателя IR месторождения «Восточное» и P_2O_5 Ковдорского техногенного месторождения результаты исследований приведены в табл. 2 и 3.

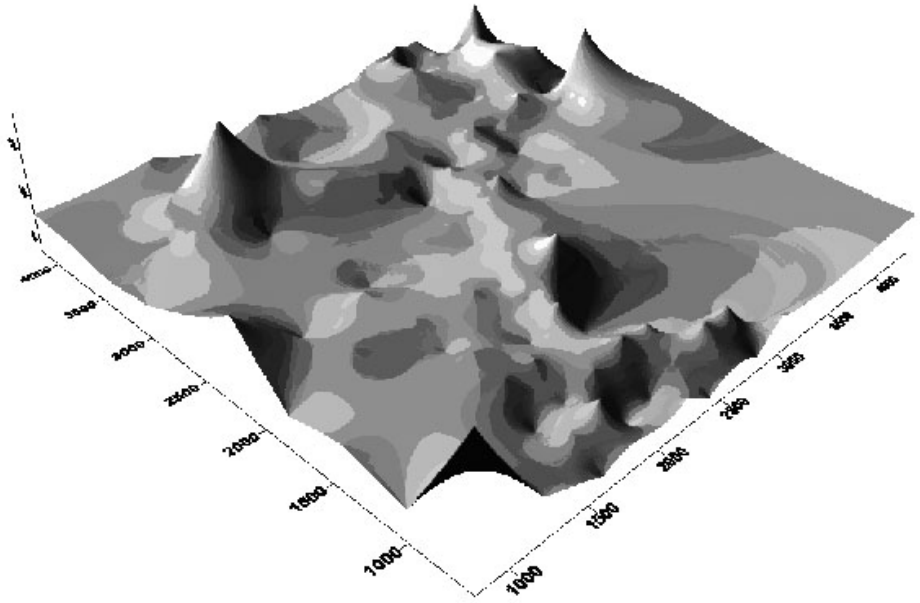


P_2O_5

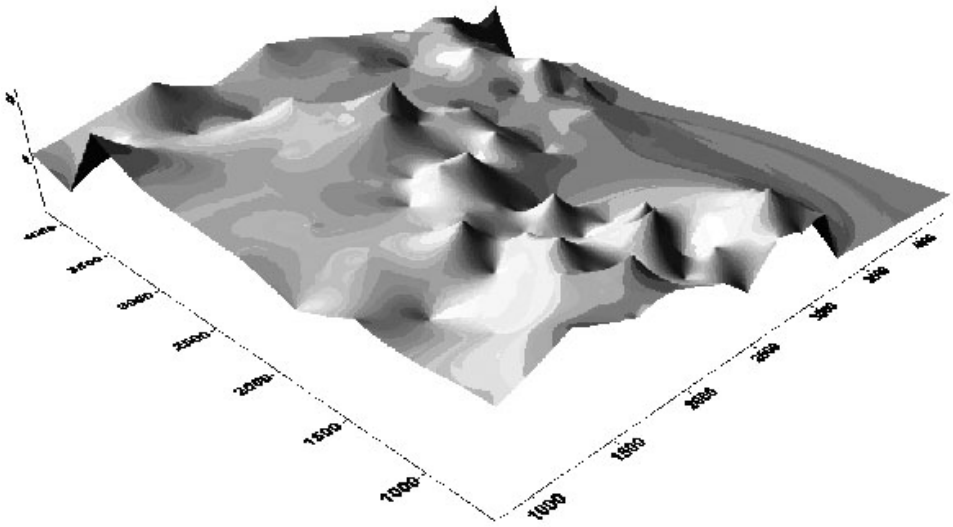


Cl

Рис. 1. Объемные модели распределения P_2O_5 и Cl на месторождении «Восточное»



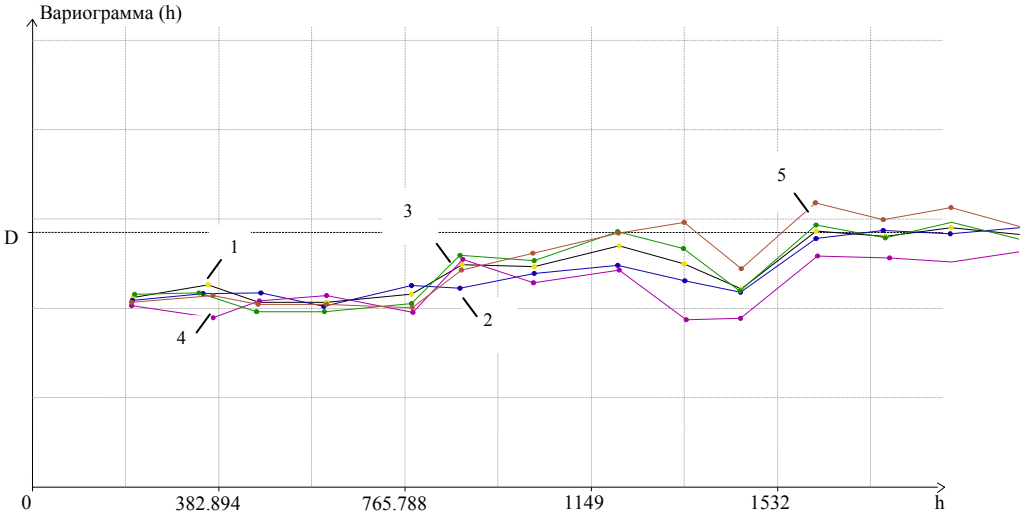
IR



m

Рис. 2. Объемные модели распределения IR и m на месторождении «Восточное»

Объект: Сирия ; признак : P_2O_5

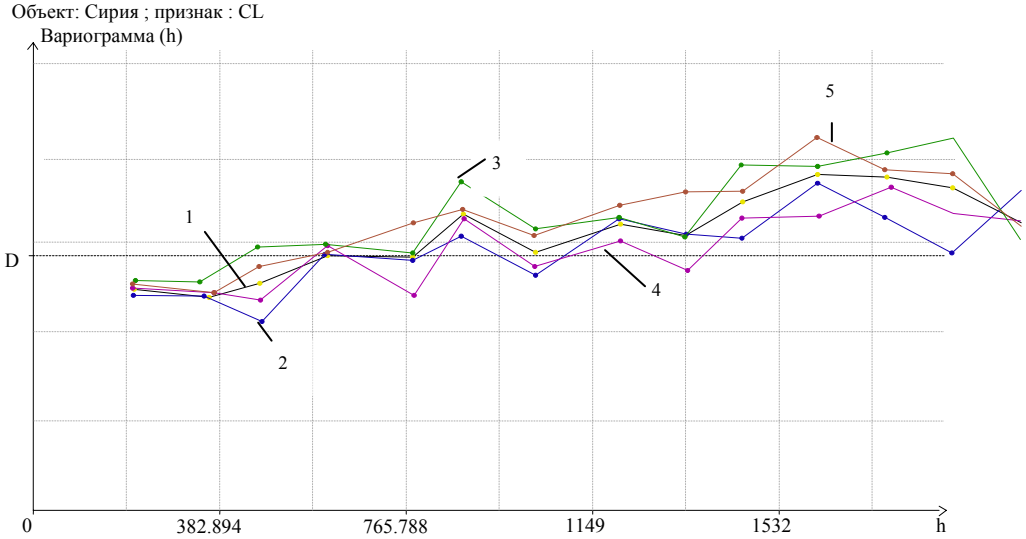


Комплект: желтая (1) - осредненная, синяя (2) - в стартовом направлении, зеленая (3)- вкрест его, фиолетовая (4) - в стартовом +45, коричневая (5) - в стартовом + 135

Вариограмма объекта: Сирия; признака: P_2O_5.

Направление минимума изменчивости 0. Шаг построения/сглаживания: 141.42136, угол сглаживания: 90.

Объект: Сирия ; признак : CL

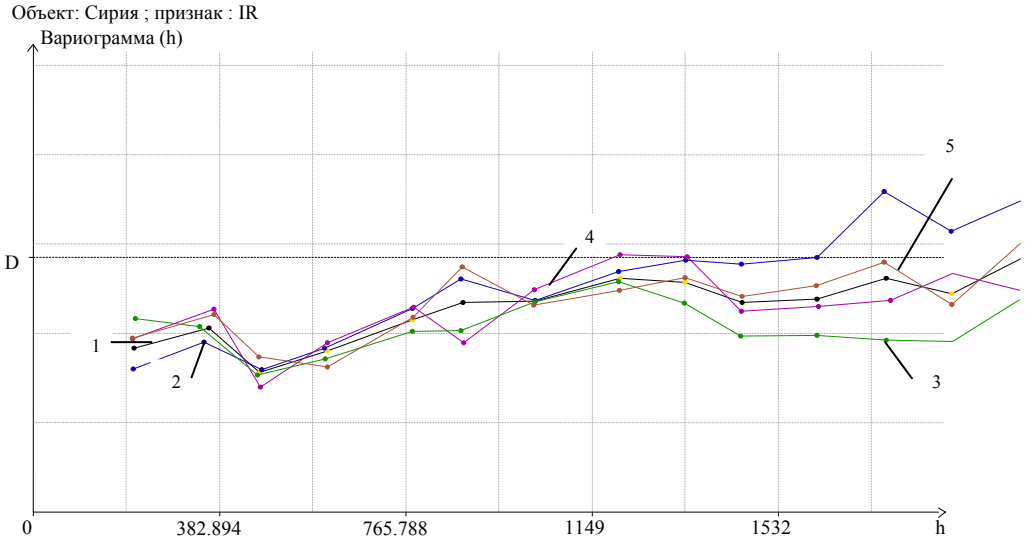


Комплект: желтая (1) - осредненная, синяя (2) - в стартовом направлении, зеленая (3)- вкрест его, фиолетовая (4) - в стартовом +45, коричневая (5) - в стартовом + 135

Вариограмма объекта: Сирия; признака: CL.

Направление минимума изменчивости 0. Шаг построения/сглаживания: 141.42136, угол сглаживания: 90.

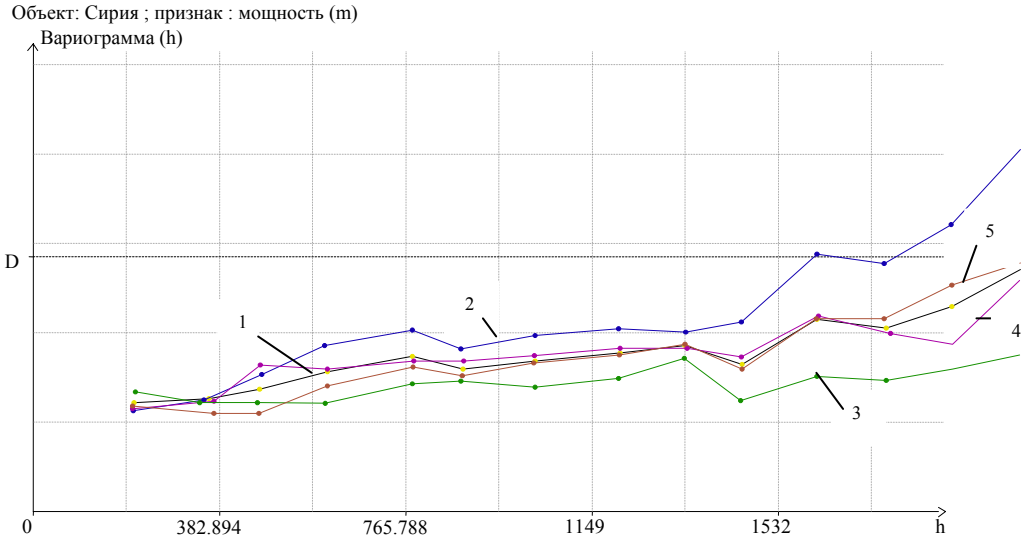
Рис. 3. Экспериментальные вариограммы P_2O_5 и CL на месторождении «Восточное»



Комплект: желтая (1) - осредненная, синяя (2) - в стартовом направлении, зеленая (3) - вкрест его, фиолетовая (4) - в стартовом +45, коричневая (5) - в стартовом + 135

Вариограмма объекта: Сирия; признака: IR.

Направление минимума изменчивости 0. Шаг построения/сглаживания: 141.42136, угол сглаживания: 90.

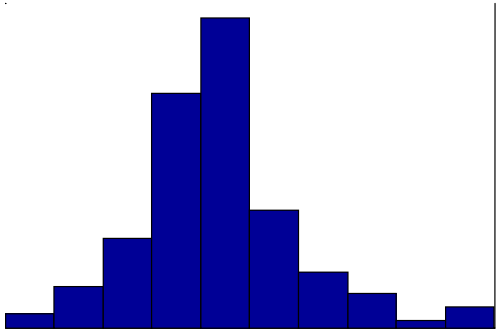


Комплект: желтая (1) - осредненная, синяя (2) - в стартовом направлении, зеленая (3) - вкрест его, фиолетовая (4) - в стартовом +45, коричневая (5) - в стартовом + 135

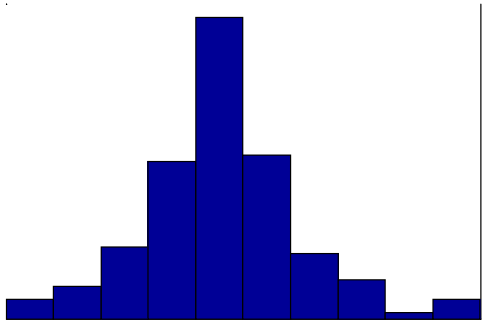
Вариограмма объекта: Сирия; признака: мощность.

Направление минимума изменчивости 0. Шаг построения/сглаживания: 141.42136, угол сглаживания: 90.

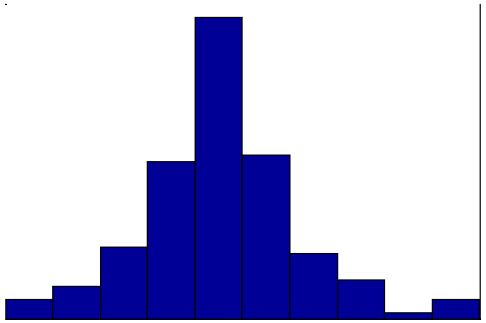
Рис. 4. Экспериментальные вариограммы IR и m на месторождении «Восточное»



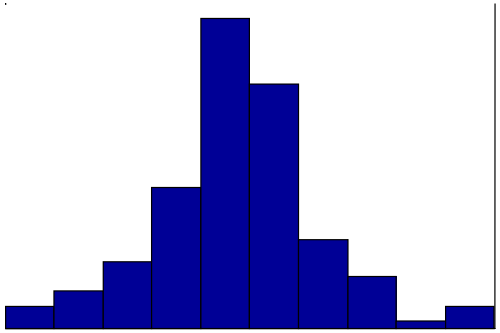
Статистика массива : Сирия
Признак : IR



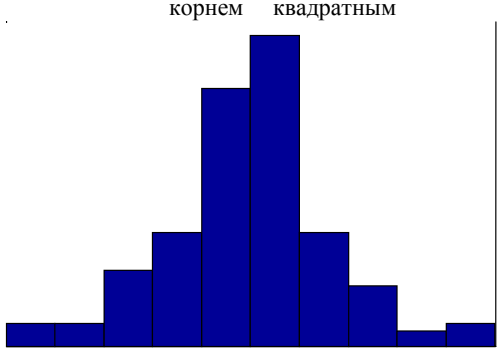
Статистика массива : Сирия
Признак : IR ; гистограмма симметризована корнем квадратным



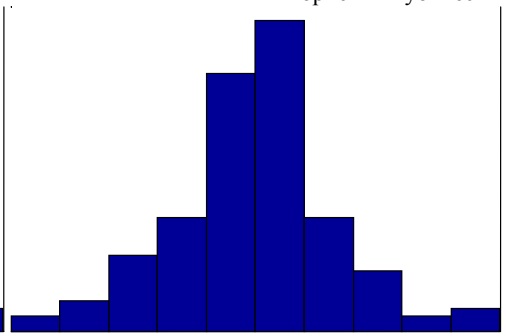
Статистика массива :
Признак : IR ; гистограмма симметризована корнем кубическим



Статистика массива : Сирия
Признак : IR ; гистограмма симметризована корнем пятой степени



Статистика массива : Сирия
Признак : IR ; гистограмма симметризована логарифмом десятичным



Статистика массива Сирия
Признак : IR ; гистограмма симметризована логарифмом натуральным

Рис. 5. Гистограммы распределения признака IR месторождения «Восточное»

В заключении следует отметить, что мультигауссовский подход, хотя и обеспечивает хорошее качество кригинга, он имеет существенный недостаток, а именно, для одних и тех же цифровых данных можно составить более одной статистики хорошей пространственной модели и поэтому разумный критерий выбора здесь может быть только один, а именно, отрисовка результатов моделирования в виде карт, которые должны быть оценены геологом, знающим объект исследований. ГИАБ

Коротко об авторах

Ермолов Валерий Александрович – доктор технических наук, профессор,
Мазхар Ибрахим Сальман – аспирант кафедры «Геология»,
Яшина Анна Валерьевна – соискатель кафедры «Геология»,
Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 1 симпозиума «Неделя горняка-2007».
Рецензент д-р техн. наук, проф. *А.М. Гальперин.*

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НЕФТЕГАЗОВЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ГЛАДЫШЕВА Яна Игоревна	Геологическое моделирование залежей пластов нижнемелового нефтегазоносного Ен-Яхинского и Уренгойского месторождений	25.00.12	к.г.-мн.н.
ЕФИМОВ Андрей Витальевич	Исследование и разработка технологий ликвидации рапопроявлений	25.00.15	к.т.н.