

# Оглавление

От Редакционного совета . . . . .	11
Предисловие от авторов . . . . .	13
Введение . . . . .	15
<b>Часть I. Цифровое геологическое моделирование</b>	
<b>ГЛАВА 1. Геологическая модель . . . . .</b>	<b>21</b>
1.1. Геологическая модель. Этапы построения . . . . .	21
1.1.1. Концептуальное строение . . . . .	24
1.1.2. Структурная модель . . . . .	26
1.1.3. Стратиграфическая модель . . . . .	29
1.1.4. Седиментологическая модель. Литология. Фации . . . . .	35
1.1.5. Геостатистика. Суть проблемы. Области применения . . . . .	36
1.2. Основная задача геостатистики . . . . .	39
1.3. Геостатистическая модель данных . . . . .	40
1.4. Стохастические и детерминированные методы аппроксимации геофизических полей . . . . .	41
1.5. Соответствие (адекватность) математических моделей . . . . .	42
1.6. Обзор программного обеспечения . . . . .	44
<b>ГЛАВА 2. Обработка геологических данных . . . . .</b>	<b>46</b>
2.1. Практические методы усреднения . . . . .	46
2.2. Основные гипотезы геостатистического анализа . . . . .	47
2.2.1. Стационарность . . . . .	47
2.2.2. Эргодичность. Оценка средних характеристик по входным данным . . . . .	48
2.2.3. Геометрическая анизотропия . . . . .	48
2.3. Вычисление экспериментальных вариограмм . . . . .	49
2.4. Интерпретация экспериментальной вариограммы . . . . .	50
2.4.1. Элементарные модели вариограмм . . . . .	52
2.4.2. Преобразование входных данных . . . . .	55
2.4.3. Выбор направления вариограммы и расстояния между точ- ками . . . . .	57
2.4.3.1. Анизотропность . . . . .	57
2.4.3.2. Расстояние между точками . . . . .	58

2.4.4.	Итоги моделирования вариограмм . . . . .	59
2.5.	Тренды . . . . .	60
2.6.	Общие проблемы . . . . .	60
<b>ГЛАВА 3.</b>	<b>Цифровая геологическая модель . . . . .</b>	<b>63</b>
3.1.	Основные понятия построения и использования карт . . . . .	63
3.2.	Кригинг . . . . .	64
3.3.	Виды кригинга. Идеи метода . . . . .	65
3.3.1.	Простой кригинг . . . . .	68
3.3.1.1.	Алгоритм простого кригинга . . . . .	70
3.3.2.	Обыкновенный кригинг . . . . .	73
3.3.3.	Универсальный кригинг . . . . .	78
3.3.4.	Кригинг с внешним дрейфом . . . . .	85
3.3.5.	Блочный кригинг . . . . .	85
3.3.6.	Кохригинг . . . . .	88
3.4.	Сплайн-интерполяция . . . . .	93
3.5.	Последовательное гауссово моделирование . . . . .	100
3.5.1.	Почему гауссово? Цена гауссовости . . . . .	105
3.6.	Индикаторный формализм . . . . .	106
3.6.1.	Индикаторное стохастическое моделирование пороговым методом . . . . .	106
3.6.2.	Последовательное индикаторное моделирование . . . . .	110
3.7.	Нестационарная анизотропная модель геофизического поля . . . . .	110
3.7.1.	Математическая модель . . . . .	111
3.7.2.	Оценивание средних . . . . .	113
3.7.3.	Обусловленный кригинг на основе спектрального представления для стационарных случайных функций . . . . .	114
3.7.4.	Оценивание спектральной плотности, ковариационной функции и вариограммы . . . . .	116
3.7.5.	Моделирование остатка $\Delta(x, h)$ . . . . .	118
3.7.6.	Приложение результатов . . . . .	120
3.7.6.1.	Геологическое строение . . . . .	121
3.7.6.2.	Геологическое моделирование . . . . .	126
3.8.	Учет трехмерной геологической неоднородности в гидродинамических моделях . . . . .	132

## **Часть II. Математический инструментарий**

<b>ГЛАВА 4.</b>	<b>Основы теории вероятности и случайных функций . . . . .</b>	<b>137</b>
4.1.	Основные определения и обозначения . . . . .	137
4.2.	Распределения вероятностей случайных величин . . . . .	139
4.2.1.	Нормальное распределение . . . . .	139

4.2.2.	Равномерное распределение . . . . .	141
4.2.3.	Логарифмически нормальное распределение . . . . .	142
4.2.4.	Распределение $\chi^2$ (распределение Пирсона) . . . . .	143
4.2.5.	Распределение Стьюдента ( $t$ -распределение) . . . . .	143
4.2.6.	Распределение Фишера ( $F$ -распределение) . . . . .	145
4.3.	Двумерное распределение . . . . .	145
4.4.	Многомерное распределение . . . . .	147
4.4.1.	Нормально распределенные случайные векторы . . . . .	148
4.5.	Действия над случайными переменными . . . . .	149
4.5.1.	Сложение . . . . .	149
4.5.2.	Функция от случайной переменной . . . . .	151
4.5.3.	Квантиль-квантильное преобразование . . . . .	152
4.5.4.	Преобразование Бокса-Мюллера . . . . .	152
4.6.	Случайные поля . . . . .	153
4.6.1.	Стационарность и изотропность случайного поля . . . . .	154
4.6.2.	Средние. Эргодичность . . . . .	155
4.6.3.	Достаточные условия эргодичности . . . . .	156
4.6.4.	Гауссовы случайные процессы и поля . . . . .	157
4.6.5.	Белый шум . . . . .	157
4.7.	Спектральная теория стационарных случайных функций . . . . .	158
4.7.1.	Ковариация и ее спектральное представление . . . . .	158
4.7.2.	Поведение ковариационной функции в нуле . . . . .	162
4.7.2.1.	Модель степенных хвостов . . . . .	163
4.7.3.	Спектральное представление стационарных случайных функций . . . . .	168
4.8.	Операции анализа над случайными функциями . . . . .	170
4.8.1.	Непрерывность случайных функций . . . . .	171
4.8.2.	Теорема Колмогорова о непрерывности реализации случайного процесса. Броуновское движение . . . . .	173
4.9.	Производные случайных процессов . . . . .	175
4.9.1.	Ковариационные функции . . . . .	175
4.10.	Спектральные моменты . . . . .	176
<b>ГЛАВА 5.</b>	<b>Основы математической статистики . . . . .</b>	<b>178</b>
5.1.	Оценка параметров распределений вероятностей . . . . .	178
5.2.	Несмещенные, состоятельные, эффективные оценки . . . . .	179
5.3.	Эмпирические распределения . . . . .	180
5.4.	Выборочное среднее . . . . .	183
5.5.	Распределение выборочной дисперсии . . . . .	184
5.6.	Доверительные интервалы . . . . .	185
5.7.	Оценка спектральной плотности и вариограммы . . . . .	186

5.8. Метод наименьших квадратов для линейных моделей с неопределенными данными . . . . .	190
5.8.1. Классическая схема метода наименьших квадратов . . . . .	191
5.9. Линейный регрессионный анализ . . . . .	192
5.10. Осторожность использования корреляции и регрессии . . . . .	194
5.10.1. Робастные методы для линейных моделей с неопределенными данными . . . . .	196
5.11. Методы выделения детерминированных и хаотических компонент временных рядов . . . . .	197
5.11.1. Геометрия гильбертовых пространств . . . . .	198
5.11.2. Ортонормированные многочлены . . . . .	200
5.12. Разложение в ряд по ортогональным полиномам . . . . .	204
<b>ГЛАВА 6. Характеристики и свойства цифровой геологической модели пласта . . . . .</b>	<b>206</b>
6.1. Геометрия случайных полей . . . . .	208
6.1.1. Перколяция случайных полей . . . . .	209
6.1.2. Максимальный поток в сети . . . . .	211
6.1.3. Краткое описание алгоритма Дейкстры . . . . .	213
6.1.4. Топология . . . . .	214
6.1.4.1. Форма и эйлерова характеристика . . . . .	215
6.1.5. Среднее эйлеровой характеристики . . . . .	217
6.2. Фильтрация в случайных полях . . . . .	217
<b>Литература . . . . .</b>	<b>220</b>
<b>Предметный указатель . . . . .</b>	<b>225</b>