

24-5842

НА ДИСК НЕ ЗАПИСАНО

**А. В. Шаруева, А. В. Лапко, В. А. Лапко**

**НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ  
О РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ  
СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН  
ПРИ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**



24-05842

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР  
ИНСТИТУТ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ  
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ  
ИМЕНИ АКАДЕМИКА М. Ф. РЕШЕТНЁВА

А. В. Шаруева  
А. В. Лапко  
В. А. Лапко

**НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ  
ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ О РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ  
СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН ПРИ АНАЛИЗЕ ДАННЫХ  
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Ответственный редактор  
кандидат физико-математических наук *О. Э. Якубайлик*

Новосибирск  
2024

УДК 519.2+519.7+004.93

ББК 22.18

Ш26

### **Шаруева, А. В.**

Непараметрические методы проверки гипотез о распределениях случайных величин при анализе данных дистанционного зондирования / А. В. Шаруева, А. В. Лапко, В. А. Лапко; отв. ред. О. Э. Якубайлик; Рос. акад. наук, Сиб. отделение, Федерал. исслед. центр Красноярский науч. центр, Ин-т вычислит. моделир., Минобрнауки России, СибГУ им. акад. М.Ф. Решетнёва. — Новосибирск: СО РАН, 2024. — 189 с.

ISBN 978-5-6049900-9-4

Предлагаются методики проверки гипотез о распределениях случайных величин на основе непараметрического алгоритма распознавания образов ядерного типа, соответствующего критерию максимального правдоподобия. На этой основе исследуется непараметрическая методика проверки гипотез о независимости случайных величин и формирования их наборов. Эффективность предлагаемых критериев подтверждается результатами применения при обработке данных дистанционного зондирования природных объектов.

Книга предназначена для специалистов и аспирантов в области прикладной математики и информатики, а также для студентов направлений подготовки бакалавров и магистров: 21.03.03, 21.04.03 «Геодезия и дистанционное зондирование», 09.03.02, 09.04.02 «Информационные системы и технологии». Рекомендуется в качестве учебного пособия по указанным выше направлениям.

УДК 519.2+519.7+004.93

ББК 22.18

#### Рецензенты:

доктор сельскохозяйственных наук *И. М. Данилин*

доктор технических наук *В. В. Ничепорчук*

доктор физико-математических наук, профессор *А. А. Кузнецов*

Утверждено к печати

ученым советом Института вычислительного моделирования СО РАН

ISBN 978-5-6049900-9-4

DOI 10.53954/9785604990094

© Сибирское отделение РАН, 2024

© Шаруева А. В., Лапко А. В., Лапко В. А., 2024

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	9
<b>1. АНАЛИЗ ТРАДИЦИОННЫХ МЕТОДОВ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ О РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН</b> .....	12
1.1. Критерий Колмогорова.....	–
1.2. Критерий Смирнова.....	13
1.3. Критерий Пирсона.....	14
1.4. Критерий $\omega^2$ .....	16
1.5. Критерий Пирсона в задаче проверки гипотезы о независимости случайных величин.....	17
1.6. Проверка гипотезы о значимости выборочного коэффициента корреляции.....	18
1.7. Проверка гипотезы о значимости коэффициента корреляции Спирмена.....	19
1.8. Проверка гипотезы о значимости коэффициента корреляции Кендалла.....	20
Обсуждение.....	21
<b>2. НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ</b> .....	22
2.1. Синтез байесовских алгоритмов распознавания образов.....	–
2.2. Непараметрическая оценка плотности вероятности Розенблатта—Парзена.....	25
2.3. Непараметрическая оценка плотности вероятности, основанная на декомпозиции статистических данных по их объему.....	27
2.4. Регрессионная оценка плотности вероятности и ее свойства.....	33
2.5. Доверительное оценивание плотности вероятности.....	39
2.6. Дискретизация области значений случайных величин.....	40
2.7. Синтез и анализ непараметрических алгоритмов распознавания образов.....	42
2.8. Оптимизация непараметрических алгоритмов распознавания образов.....	52
2.9. Быстрый выбор коэффициентов размытости регрессионной оценки решающей функции алгоритма распознавания образов.....	60
Обсуждение.....	65
<b>3. НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ О РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН</b> .....	66
3.1. Проверка гипотезы о распределениях случайных величин на основе непараметрических алгоритмов распознавания образов.....	–
3.2. Коллектив непараметрических алгоритмов распознавания образов в задаче проверки гипотезы о распределениях случайных величин.....	71
3.3. Методика проверки гипотезы о распределениях многомерных случайных величин.....	74
3.4. Критерий доверительного оценивания плотностей вероятности случайных величин в задаче проверки гипотезы об их распределении.....	77

3.5. Проверка гипотезы о распределениях случайных величин на основе дисперсии квадратической ошибки аппроксимации и неравенства Чебышева .....	85
Обсуждение .....	92
<b>4. НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ О НЕЗАВИСИМОСТИ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН</b> .....	<b>94</b>
4.1. Проверка гипотезы о независимости двумерных случайных величин с использованием непараметрического алгоритма распознавания образов.....	–
4.2. Исследование методики проверки гипотезы о независимости двухмерных случайных величин с использованием непараметрического классификатора .....	100
4.3. Сравнение методики проверки гипотезы о независимости двухмерных случайных величин, основанной на непараметрическом классификаторе .....	108
4.4. Применение непараметрического алгоритма распознавания образов в задаче проверки гипотезы о независимости переменных неоднозначных функций .....	116
4.5. Сравнение методик проверки гипотезы о независимости случайных величин, основанных на непараметрическом классификаторе и критерии Пирсона.....	121
4.6. Методика последовательного формирования набора независимых компонент многомерной случайной величины .....	126
4.7. Формирование наборов независимых компонент многомерной случайной величины на основе непараметрического алгоритма распознавания образов .....	133
4.8. Оптимизация ядерной оценки плотности вероятности двухмерной случайной величины с независимыми составляющими .....	141
Обсуждение .....	146
<b>5. ПРИМЕНЕНИЕ НЕПАРАМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПРОВЕРКИ ГИПОТЕЗ О РАСПРЕДЕЛЕНИЯХ СЛУЧАЙНЫХ ВЕЛИЧИН ПРИ ОБРАБОТКЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ</b> .....	<b>148</b>
5.1. Анализ зависимости между многомерными спектральными признаками данных дистанционного зондирования горной лесотундры западной части Алтае-Саянского региона.....	–
5.2. Зависимости между спектральными признаками данных дистанционного зондирования различных природных объектов .....	150
5.3. Зависимости между спектральными признаками данных дистанционного зондирования антропогенных территорий .....	168
Обсуждение .....	175
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b> .....	<b>177</b>
<b>БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ</b> .....	<b>180</b>