

Джордж Грекусис

МЕТОДЫ И ПРАКТИКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО АНАЛИЗА

С примерами решения в ArcGIS,
GeoDa и GeoDa Space



Методы и практика пространственного анализа

Джордж Грекусис

С примерами решения в ArcGIS, GeoDa и GeoDa Space



Москва, 2021

УДК 004.02
ББК 32.972
Г79

Джордж Грекусис

Г79 Методы и практика пространственного анализа / пер. с англ. А. Н. Киселева. – М.: ДМК Пресс, 2021. – 540 с.: ил.

ISBN 978-5-97060-912-5

Книга знакомит читателей с приемами и методами пространственного анализа и пространственной статистики с помощью ГИС. Каждая глава представляет отдельную группу методов и метрик, объясняет, как интерпретировать результаты, и содержит практические примеры.

В числе рассматриваемых тем описание и отображение данных посредством исследовательского пространственного анализа данных, анализ географического распределения и точечных закономерностей, пространственная автокорреляция, пространственная кластеризация, географически взвешенная регрессия и регрессия методом наименьших квадратов, пространственная эконометрика. Примеры, объединяющие теорию и практику, связаны в единое исследование с использованием программного обеспечения и сопровождаются пояснительными иллюстрациями. Упражнения решаются дважды: сначала с помощью ArcGIS, а затем – GeoDa.

Книга будет полезна аспирантам и исследователям, занимающимся анализом геопространственных данных через призму пространственного анализа, в том числе всем, кто использует геоинформационные системы в экологии, географии и социальных науках.

УДК 004.02
ББК 32.972

Copyright Original English language edition published by Cambridge University Press is part of the University of Cambridge. Copyright © 2020 by George Grekousis. Russian-language edition copyright © 2021 by DMK Press. All rights reserved.

Все права защищены. Любая часть этой книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме и какими бы то ни было средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Оглавление

Предисловие от издательства	11
Вступление	12
Глава 1. Пространственное мышление: основные понятия пространственного анализа и концептуализация пространства	15
Теория.....	15
1.1. Введение: пространственный анализ.....	16
1.2. Основные определения	20
1.3. Пространственные данные: что в них особенного?	25
1.4. Концептуализация пространственных отношений	30
1.5. Измерение расстояния	32
1.5.1. Фиксированное расстояние (сфера влияния)	33
1.5.2. Расстояние затухания	35
1.6. Близость: матрица смежности	39
1.6.1. Близость полигонов	39
1.6.2. Матрица смежности.....	41
1.7. Взаимодействие.....	42
1.8. Окрестности и соседи	43
1.8.1. Метод k ближайших соседей	43
1.8.2. Метод пространственно-временного окна	45
1.8.3. Метод полигонов близости	46
1.8.4. Триангуляция Делоне и нерегулярные триангуляционные сети.....	47
1.9. Пространственные веса и стандартизация строк.....	48
1.10. Заключительные замечания к главе	50
Вопросы и ответы	51
Практическая работа 1. Пространственный анализ инвестиций на рынке недвижимости	54
A. ArcGIS	60
B. GeoDa.....	67
Упражнение 1.1. Знакомство с данными и областью исследования	67
Глава 2. Инструменты и статистики исследовательского анализа пространственных данных	73
Теория.....	73
2.1. Введение в исследовательский анализ пространственных данных, описательную статистику, статистику выводов и пространственную статистику	74

2.2. Простые инструменты ESDA и описательные статистики для визуализации пространственных данных (одномерные данные).....	78
2.2.1. Фоновые картограммы.....	78
2.2.2. Распределение частот и гистограммы.....	80
2.2.3. Оценка центра.....	84
2.2.4. Оценки формы.....	86
2.2.5. Оценки рассеяния/изменчивости – вариативность.....	87
2.2.6. Процентили, квартили и квантили.....	90
2.2.7. Выбросы.....	91
2.2.8. Коробчатая диаграмма.....	93
2.2.9. Нормальный график КК.....	96
2.3. Инструменты ESDA и описательные статистики для анализа двух и более переменных (двумерный анализ).....	97
2.3.1. Диаграмма рассеяния.....	97
2.3.2. Матрица диаграмм рассеяния.....	99
2.3.3. Ковариационная и дисперсионно-ковариационная матрицы.....	100
2.3.4. Коэффициент корреляции.....	102
2.3.5. Парная корреляция.....	105
2.3.6. Нормальный график КК.....	106
2.4. Изменение масштаба данных.....	106
2.5. Статистика выводов и ее роль.....	110
2.5.1. Параметрические методы.....	111
2.5.2. Непараметрические методы.....	115
2.5.3. Доверительный интервал.....	116
2.5.4. Стандартная ошибка, стандартная ошибка	
2.5.5. Проверки значимости, гипотезы, <i>p</i> -значение и <i>z</i> -оценка.....	119
2.6. Использование нормального распределения в географическом анализе.....	125
2.7. Заключительные замечания к главе.....	127
Вопросы и ответы.....	128
Практическая работа 2. Исследовательский анализ пространственных данных (ESDA): анализ и отображение данных.....	132
А. ArcGIS.....	133
Упражнение 2.1. Инструменты ESDA: отображение и анализ распределения доходов.....	133
Упражнение 2.2. Двумерный анализ: анализ расходов по уровню образования.....	147
В. GeoDa.....	152
Упражнение 2.1. Инструменты ESDA: отображение и анализ распределения доходов.....	152
Упражнение 2.2. Двумерный анализ: анализ расходов по уровню образования.....	158

Глава 3. Анализ географического распределения и структуры точечных закономерностей.....	162
Теория.....	162

3.1. Анализ географического распределения: центрография	163
3.1.1. Средний центр	163
3.1.2. Медианный центр	166
3.1.3. Центральный объект	167
3.1.4. Стандартное расстояние	169
3.1.5. Эллипс стандартного отклонения	171
3.1.6. Географические и пространственные выбросы	173
3.2. Анализ пространственных закономерностей: анализ структуры точечных закономерностей	178
3.2.1. Определения: пространственный процесс, полная пространственная случайность, эффекты первого и второго порядка	180
3.2.2. Пространственный процесс	182
3.3. Методы анализа структуры точечных закономерностей	185
3.3.1. Анализ ближайших соседей	186
3.3.2. K -функция Рипли и L -функция ее преобразования	187
3.3.3. Ядерная функция плотности	191
3.4. Заключительные замечания к главе	195
Вопросы и ответы	196
Практическая работа 3. Пространственная статистика: оценка географических распределений	199
Упражнение 3.1. Оценка географических распределений	200
Упражнение 3.2. Анализ точечных закономерностей	207
Упражнение 3.3. Ядерная оценка плотности	214
Упражнение 3.4. Географические выбросы	219

Глава 4. Пространственная автокорреляция	222
Теория	222
4.1. Пространственная автокорреляция	223
4.2. Глобальная пространственная автокорреляция	226
4.2.1. Индекс I Морана и диаграмма рассеяния	226
4.2.2. Индекс C Гири	232
4.2.3. Общая G -статистика	233
4.3. Инкрементальная пространственная автокорреляция	235
4.4. Локальная пространственная автокорреляция	238
4.4.1. Локальный индекс I Морана (анализ кластеров и выбросов)	238
4.4.2. Оптимизированный анализ выбросов	242
4.4.3. Индексы Гетиса–Орда G_i^* и G_i^* (анализ горячих точек)	243
4.4.4. Оптимизированный анализ горячих точек	245
4.5. Пространственно-временной корреляционный анализ	246
4.5.1. Двумерный индекс I Морана пространственно-временной корреляции	246
4.5.2. Дифференциальный индекс I Морана	248
4.5.3. Анализ возникновения горячих точек	250
4.6. Проблема множественного сравнения и пространственная зависимость	251
4.7. Заключительные замечания к главе	253

Вопросы и ответы	254
Практическая работа 4. Пространственная автокорреляция	258
A. ArcGIS	259
Упражнение 4.1. Глобальная пространственная автокорреляция.....	259
Упражнение 4.1. Глобальная пространственная автокорреляция.....	260
Упражнение 4.2. Инкрементальная пространственная автокорреляция и матрица пространственных весов.....	264
Упражнение 4.3. Анализ кластеров и выбросов (локальный индекс I Морана)	270
Упражнение 4.4. Анализ горячих точек (индекс G_i^* Гетиса–Орда) и оптимизированный анализ горячих точек.....	273
Упражнение 4.5. Оптимизированный анализ горячих точек криминальных событий	279
B. GeoDa	282
Упражнения 4.1 и 4.2. Глобальная пространственная автокорреляция и матрица пространственных весов.....	282
Упражнение 4.3. Анализ кластеров и выбросов (локальный индекс I Морана)	287
Упражнение 4.4. Анализ горячих точек (индекс G_i^* Гетиса–Орда)	290

Глава 5. Многомерные данные в географии: сокращение размерности данных и пространственная кластеризация

Теория.....	292
5.1. Анализ многомерных данных.....	293
5.2. Метод главных компонент	297
5.3. Факторный анализ	307
5.4. Многомерное масштабирование	308
5.5. Кластерный анализ	310
5.5.1 Иерархическая кластеризация.....	311
5.5.2. Алгоритм k средних (разделяющая кластеризация)	316
5.6. Регионализация	322
5.6.1. Метод SKATER.....	323
5.6.2. Метод REDCAP	326
5.7. Кластеризация на основе плотности: DBSCAN, HDBSCAN, OPTICS.....	327
5.8. Анализ сходства: косинусное сходство	329
5.9. Заключительные замечания к главе	331
Вопросы и ответы	332
Практическая работа 5. Многомерная статистика: кластеризация.....	335
A. ArcGIS	336
Упражнение 5.1. Кластеризация методом k средних	336
Сводные данные по переменным	345
Упражнение 5.2. Пространственная кластеризация (Regionalization)	347
Упражнение 5.3. Анализ сходства	350
Упражнение 5.4. Обобщение.....	354
B. GeoDa.....	363
Упражнение 5.1. Кластеризация методом k средних	363
Упражнение 5.2. Пространственная кластеризация	366

Глава 6. Моделирование отношений:

регрессия и географически взвешенная регрессия	369
Теория.....	369
6.1. Простая линейная регрессия.....	370
6.1.1. Предположения в основе простой линейной регрессии.....	373
6.1.2. Обычный метод наименьших квадратов (для определения точки пересечения и наклона).....	373
6.2. Множественная линейная регрессия.....	374
6.2.1. Основы множественной регрессии	374
6.2.2. Переобучение модели: выбор количества переменных путем определения функциональной взаимосвязи	377
6.2.3. Отсутствующие значения.....	378
6.2.4. Выбросы и точки с большим плечом	378
6.2.5. Фиктивные переменные	379
6.2.6. Методы включения переменных в модель множественной линейной регрессии: объяснительный анализ; выявление причин и следствий	381
6.3. Оценка результатов линейной регрессии: метрики, критерии и диаграммы	383
6.3.1. Множественный R -квадрат	383
6.3.2. Дисперсия и коэффициент детерминации R -квадрат	384
6.3.3. Скорректированный R -квадрат	388
6.3.4. Прогнозный R -квадрат	389
6.3.5. Стандартная ошибка (отклонение) регрессии (или стандартная ошибка оценки).....	390
6.3.6. F -критерий общей значимости.....	391
6.3.7. t -статистика (критерий коэффициентов).....	393
6.3.8. Критерий Вальда (критерий коэффициентов).....	394
6.3.9. Стандартизированные коэффициенты (бета)	394
6.3.10. Остатки, диаграммы остатков и стандартизированных остатков.....	397
6.3.11. Факторы влияния: выбросы и наблюдения с высоким плечом	400
6.4. Предположения в основе множественной линейной регрессии: диагностика и исправление.....	402
6.5. Мультиколлинеарность	408
6.6. Практический пример: простая и множественная линейная регрессия.....	410
6.7. Исследовательская регрессия	418
6.8. Географически взвешенная регрессия	422
6.8.1. Типы пространственных ядер.....	423
6.8.2. Ширина полосы	424
6.8.3. Интерпретация результатов GWR и практические рекомендации.....	425
6.9. Заключительные замечания к главе	429
Вопросы и ответы	430

Практическая работа 6. Обычный метод наименьших квадратов (OLS), исследовательская регрессия, географически взвешенная регрессия (GWR).....	433
Упражнение 6.1. Исследовательская регрессия	434
Упражнение 6.2. Регрессия обычным методом наименьших квадратов	448
Упражнение 6.3. Географически взвешенная регрессия.....	459
Глава 7. Пространственная эконометрика.....	471
Теория.....	471
7.1. Пространственная эконометрика	472
7.2. Пространственная зависимость: модели и критерии пространственной регрессии	473
7.2.1. Критерии пространственной зависимости	474
7.2.2. Выбор между моделями пространственного лага и пространственной ошибки.....	477
7.2.3. Методы оценки.....	479
7.3. Модель пространственного лага	479
7.3.1. Пространственный двухшаговый метод наименьших квадратов (S2SLS)	482
7.3.2. Максимальное правдоподобие.....	486
7.4. Модель пространственной ошибки.....	487
7.5. Пространственная фильтрация.....	489
7.6. Пространственная неоднородность: модели пространственной регрессии.....	490
7.7. Пространственные режимы	491
7.8. Заключительные замечания к главе	494
Вопросы и ответы	494
Практическая работа 7. Пространственная эконометрика.....	497
Общий прогресс	497
Сфера анализа.....	497
Упражнение 7.1. Регрессия OLS.....	498
Упражнение 7.2. Модель пространственной ошибки	508
Упражнение 7.3. Регрессия OLS с пространственными режимами	511
Упражнение 7.4. Модель пространственной ошибки с режимами.....	519
Список использованной литературы	522
Предметный указатель	532