

GeoAI с Python

*Практическое руководство по
геопространственному ИИ с открытым
исходным кодом*



Qiusheng Wu

GeoAI с Python

Практическое руководство по
геопространственному ИИ с открытым
ИСХОДНЫМ КОДОМ

Qiusheng Wu
2026

Contents

Предисловие	1
Введение	3
Для кого эта книга	4
Содержание книги	5
Как извлечь максимум из этой книги	9
Условные обозначения в этой книге	10
Загрузка примеров кода	10
Видеоуроки	11
Сообщество и обратная связь	11
Об авторе	12
Лицензирование и авторские права	12
I: Основы	15
1. Введение в GeoAI	17
1.1. Введение	17
1.2. Цели обучения	18
1.3. Что такое GeoAI?	18
1.4. Ключевые приложения GeoAI	21
1.5. Экосистема Python для GeoAI	25
1.6. Основные задачи ИИ в геопространственном анализе	28
1.7. От традиционных методов к базовым моделям	35
1.8. Ключевые выводы	37
1.9. Упражнения	38
2. Настройка среды	41
2.1. Введение	41
2.2. Цели обучения	41
2.3. Требования к оборудованию	41
2.4. Установка драйверов NVIDIA	42
2.5. Установка Python с Miniconda	45
2.6. Создание среды conda	47
2.7. Установка GeoAI и PyTorch с поддержкой GPU	47
2.8. Установка uv как альтернативного менеджера пакетов	49
2.9. Настройка Jupyter	50
2.10. Установка Visual Studio Code	51
2.11. Проверка вашей настройки	52
2.12. Упражнения	54
3. Основы геопространственных данных	55
3.1. Введение	55
3.2. Цели обучения	55
3.3. Растровые данные	55
3.4. Векторные данные	59
3.5. Системы координат	63
3.6. Форматы аннотаций для глубокого обучения	64
3.7. Нарезка изображений на тайлы и фрагменты	66
3.8. Ключевые выводы	67
3.9. Упражнения	67

II: Сбор и подготовка данных	69
4. Загрузка данных дистанционного зондирования	71
4.1. Введение	71
4.2. Цели обучения	71
4.3. Источники спутниковых снимков	72
4.4. Поиск с помощью STAC	73
4.5. Загрузка снимков NAIP	79
4.6. Загрузка данных Sentinel-2	80
4.7. Загрузка данных Landsat	82
4.8. Загрузка открытых данных Vantor	84
4.9. Доступ к векторным данным	84
4.10. Организация данных	86
4.11. Ключевые выводы	87
4.12. Упражнения	88
5. Интерактивное картографирование и визуализация	91
5.1. Введение	91
5.2. Цели обучения	91
5.3. Создание интерактивных карт с помощью Leafmap	92
5.4. Работа с растровыми данными на картах	93
5.5. Визуализация данных из Planetary Computer	96
5.6. Работа с векторными данными на картах	100
5.7. Карты с разделённой панелью для сравнения	102
5.8. Визуализация результатов модели	103
5.9. Лучшие практики визуализации GeoAI	106
5.10. Ключевые выводы	106
5.11. Упражнения	107
6. Создание обучающих данных	109
6.1. Введение	109
6.2. Цели обучения	109
6.3. Конвейер подготовки обучающих данных	109
6.4. Генерация фрагментов из одного изображения	110
6.5. Пакетная обработка нескольких изображений	115
6.6. Пакетная обработка с растровыми масками	119
6.7. Рекомендации по качеству меток	120
6.8. Организация набора данных	120
6.9. Резюме	122
6.10. Ключевые выводы	122
6.11. Упражнения	123
III: Основные задачи ИИ	125
7. Распознавание изображений	127
7.1. Введение	127
7.2. Цели обучения	127
7.3. Понимание классификации изображений	128
7.4. Архитектуры классификации	129
7.5. Подготовка данных для классификации	130
7.6. Импорт библиотек	132
7.7. Загрузка набора данных EuroSAT RGB	132
7.8. Изучение набора данных	133

7.9.	Обучение классификатора ResNet-50	134
7.10.	Графики истории обучения	135
7.11.	Оценка на тестовой выборке	136
7.12.	Построение матрицы ошибок	137
7.13.	Визуализация предсказаний	138
7.14.	Обучение классификатора EfficientNet-B0	139
7.15.	Сравнение результатов	141
7.16.	Публикация и повторное использование моделей	141
7.17.	Ключевые выводы	143
7.18.	Упражнения	144
8.	Обнаружение объектов	147
8.1.	Введение	147
8.2.	Цели обучения	147
8.3.	Понимание обнаружения объектов	148
8.4.	Архитектуры обнаружения	149
8.5.	Подготовка наборов данных для обнаружения	152
8.6.	Оценка результатов обнаружения	153
8.7.	Импорт библиотек	154
8.8.	Загрузка набора данных NWPU-VHR-10	155
8.9.	Исследование набора данных	155
8.10.	Подготовка набора данных	156
8.11.	Визуализация примеров аннотаций	156
8.12.	Обучение многоклассовой модели обнаружения	157
8.13.	Построение метрик обучения	158
8.14.	Оценка с помощью метрик COCO	158
8.15.	Вывод на примерах изображений	159
8.16.	Визуализация обнаружений	160
8.17.	Пакетный вывод на нескольких изображениях	161
8.18.	Публикация и повторное использование моделей	162
8.19.	Ключевые выводы	165
8.20.	Упражнения	165
9.	Семантическая сегментация	167
9.1.	Введение	167
9.2.	Цели обучения	167
9.3.	Основы семантической сегментации	168
9.4.	Импорт библиотек	170
9.5.	Обнаружение зданий на аэрофотоснимках	170
9.6.	Картирование поверхностных вод	177
9.7.	Обнаружение облаков и теней от облаков	201
9.8.	Классификация земельного покрова	207
9.9.	Публикация и повторное использование моделей	212
9.10.	Ключевые выводы	213
9.11.	Упражнения	214
10.	Сегментация экземпляров	217
10.1.	Введение	217
10.2.	Цели обучения	218
10.3.	Сегментация экземпляров и семантическая сегментация	218
10.4.	Архитектура Mask R-CNN	219

10.5.	Загрузка набора данных FTW	220
10.6.	Подготовка обучающих данных	223
10.7.	Обучение модели Mask R-CNN	223
10.8.	Выполнение вывода	225
10.9.	Постобработка предсказаний	226
10.10.	Извлечение геометрических свойств	229
10.11.	Пакетная обработка	231
10.12.	Ключевые выводы	232
10.13.	Упражнения	232
11.	<i>Преобразование изображений</i>	235
11.1.	Введение	235
11.2.	Цели обучения	235
11.3.	Основы преобразования изображений	236
11.4.	Импорт библиотек	238
11.5.	Загрузка примера данных	238
11.6.	Визуализация входного RGB-композиата	239
11.7.	Сверхразрешение одного фрагмента	240
11.8.	Оценка неопределенности	242
11.9.	Тайловый вывод для больших областей	243
11.10.	Ограничения и предостережения	245
11.11.	Ключевые выводы	246
11.12.	Упражнения	247
12.	<i>Обнаружение изменений</i>	249
12.1.	Введение	249
12.2.	Цели обучения	249
12.3.	Понимание обнаружения изменений	250
12.4.	Традиционные методы обнаружения изменений	251
12.5.	Глубокое обучение для обнаружения изменений	254
12.6.	Импорт библиотек	255
12.7.	Список доступных моделей	255
12.8.	Настройка	255
12.9.	Загрузка примеров данных	256
12.10.	Визуализация входных данных	256
12.11.	Инициализация модели ChangeStar	256
12.12.	Запуск обнаружения изменений	257
12.13.	Визуализация результатов	258
12.14.	Использование функции быстрого доступа	259
12.15.	Сравнение вариантов моделей	260
12.16.	Настройка порога	261
12.17.	Просмотр сохранённых результатов	262
12.18.	Ключевые выводы	263
12.19.	Упражнения	264
13.	<i>Пиксельная регрессия</i>	267
13.1.	Введение	267
13.2.	Цели обучения	267
13.3.	Понимание пиксельной регрессии	268
13.4.	Архитектуры регрессии	269
13.5.	Практический пример: предсказание NDVI по снимкам Landsat	270

13.6. Метрики оценки	276
13.7. Ключевые выводы	277
13.8. Упражнения	277
IV: Базовые модели и спутниковые эмбединги	279
14. Segment Anything для геопространственных данных	281
14.1. Введение	281
14.2. Цели обучения	282
14.3. Как работает SAM 3	282
14.4. Настройка окружения	283
14.5. Сегментация изображений	283
14.6. Точечные промпты для сегментации экземпляров	288
14.7. Рамочные промпты для извлечения зданий	296
14.8. Пакетная сегментация	300
14.9. Тайловая сегментация для больших изображений	302
14.10. Интерактивная сегментация	305
14.11. Сегментация видео	307
14.12. Ключевые выводы	313
14.13. Упражнения	314
15. Визуально-языковые модели	317
15.1. Введение	317
15.2. Цели обучения	318
15.3. Как работают визуально-языковые модели	318
15.4. Настройка окружения	319
15.5. Исходные данные	319
15.6. Инициализация процессора Moondream	320
15.7. Подписи к изображениям	320
15.8. Визуальный ответ на вопросы	322
15.9. Обнаружение объектов и локализация точек	323
15.10. Интерактивный графический интерфейс	325
15.11. Анализ со скользящим окном для больших растров	327
15.12. Сегментация на основе CLIP	333
15.13. Практические приложения в наблюдении Земли	336
15.14. Ограничения и соображения	336
15.15. Ключевые выводы	337
15.16. Упражнения	338
16. Спутниковые эмбединги	339
16.1. Введение	339
16.2. Цели обучения	339
16.3. Что такое спутниковые эмбединги?	340
16.4. Настройка окружения	340
16.5. Обзор доступных наборов данных эмбедингов	341
16.6. Исследование фрагментных эмбедингов	342
16.7. Визуализация эмбедингов	344
16.8. Кластеризация эмбедингов	346
16.9. Поиск по сходству	349
16.10. Обучение классификаторов на эмбедингах	351
16.11. Сравнение эмбедингов для обнаружения изменений	355
16.12. Загрузка наборов данных с помощью TorchGeo	357

16.13.	Работа с временными эмбедингами TESSERA	357
16.14.	Исследование спутниковых эмбедингов AlphaEarth	363
16.15.	Ключевые выводы	366
16.16.	Упражнения	367
V:	Плагины QGIS	369
17.	<i>Настройка плагина GeoAI для QGIS</i>	371
17.1.	Введение	371
17.2.	Цели обучения	371
17.3.	Обзор архитектуры плагина	372
17.4.	Установка плагина QGIS	373
17.5.	Настройка зависимостей	375
17.6.	Настройка доступа к SAM 3	379
17.7.	Управление памятью GPU	380
17.8.	Проверка обновлений плагина	381
17.9.	Ключевые выводы	382
17.10.	Упражнения	383
18.	<i>Сегментация деревьев в QGIS</i>	385
18.1.	Введение	385
18.2.	Цели обучения	385
18.3.	Обзор панели сегментации деревьев	386
18.4.	Загрузка предварительно обученных моделей	386
18.5.	Выполнение предсказаний	388
18.6.	Экспорт результатов	392
18.7.	Практические соображения	393
18.8.	Ключевые выводы	394
18.9.	Упражнения	395
19.	<i>Сегментация водных объектов в QGIS</i>	397
19.1.	Введение	397
19.2.	Цели обучения	397
19.3.	Обзор панели сегментации водных объектов	398
19.4.	Настройка входных данных	398
19.5.	Запуск сегментации водных объектов	400
19.6.	Параметры вывода	401
19.7.	Практические соображения	403
19.8.	Ключевые выводы	404
19.9.	Упражнения	404
20.	<i>Визуально-языковые модели в QGIS</i>	407
20.1.	Введение	407
20.2.	Цели обучения	408
20.3.	Загрузка модели Moondream	408
20.4.	Подписывание изображений	410
20.5.	Визуальный ответ на вопросы	412
20.6.	Обнаружение объектов	413
20.7.	Точечная локализация	415
20.8.	Советы и ограничения	416
20.9.	Ключевые выводы	417
20.10.	Упражнения	418
21.	<i>Segment Anything в QGIS</i>	419

21.1.	Введение	419
21.2.	Цели обучения	419
21.3.	Образцы данных	419
21.4.	Загрузка модели SAM	420
21.5.	Сегментация по текстовым подсказкам	422
21.6.	Интерактивная сегментация	423
21.7.	Пакетная обработка	425
21.8.	Экспорт результатов	426
21.9.	Ключевые выводы	428
21.10.	Упражнения	429
22.	<i>Семантическая сегментация в QGIS</i>	431
22.1.	Введение	431
22.2.	Цели обучения	431
22.3.	Создание обучающих данных	432
22.4.	Обучение модели	434
22.5.	Запуск вывода	438
22.6.	Устранение типичных проблем	439
22.7.	Ключевые выводы	440
22.8.	Упражнения	440
23.	<i>Сегментация экземпляров в QGIS</i>	443
23.1.	Введение	443
23.2.	Цели обучения	443
23.3.	Архитектура Mask R-CNN	444
23.4.	Создание обучающих данных	444
23.5.	Обучение Mask R-CNN	446
23.6.	Запуск вывода	448
23.7.	Ключевые выводы	450
23.8.	Упражнения	450
Литература	453

Предисловие

Введение

Мы находимся в разгаре революции в области наблюдения Земли. Каждый день спутники собирают огромный объем данных, включая мультиспектральные изображения, радарные данные, данные LiDAR и многое другое. Хотя эта информация хранит ключи к пониманию климатической уязвимости и урбанизации, разрыв между сбором данных и их практическим применением оставался серьезным препятствием.

Именно здесь на помощь приходит GeoAI.

Находясь на стыке геопространственной науки и ИИ, GeoAI сокращает этот разрыв с невероятной скоростью. Модели глубокого обучения теперь могут масштабно идентифицировать каждое здание или точно определять отдельные транспортные средства на обширных территориях. Новые базовые модели позволяют этим инструментам работать в незнакомых условиях с минимальным участием человека. Кроме того, визуально-языковые модели и автономные агенты позволяют аналитикам делать запросы к снимкам и управлять рабочими процессами с помощью простых команд. Задачи ручной оцифровки, которые раньше занимали месяцы, теперь выполняются за считанные минуты.

Эта книга, *“GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI”*, является вашим практическим руководством по этой революции. Она построена на простой идее: лучший способ изучить GeoAI – это практика. Вместо погружения в абстрактную теорию каждая глава дает вам в руки реальные инструменты – от подготовки обучающих наборов данных и запуска моделей глубокого обучения до интерактивной визуализации и интерпретации результатов. Код реальный, наборы данных реальные, а задачи отражают то, с чем практикующие специалисты сталкиваются каждый день.

Экосистема Python для GeoAI значительно развилась. Библиотеки, такие как PyTorch, torchgeo и segment-geospatial, предоставляют передовые возможности глубокого обучения для специалистов в области геопространственных технологий, а пакеты, такие как leafmap и geoi, предлагают высокоуровневые интерфейсы, делающие сложные рабочие процессы доступными. Платформы облачных вычислений и ускорение на GPU снизили порог входа для обучения и развертывания моделей в масштабе. Благодаря этим достижениям исследователь с ноутбуком может сделать то, для чего раньше требовалась команда специалистов и целая серверная комната.

Наше путешествие начинается с основ: понимание форматов геопространственных данных, настройка среды глубокого обучения и освоение интерактивной визуализации. Затем мы рассмотрим важнейшую работу по получению спутниковых снимков и подготовке обучающих наборов данных. Далее мы перейдем к основным задачам ИИ, определяющим современное дистанционное зондирование: распознавание изображений, обнаружение объектов, семантическая сегментация, сегментация экземпляров, трансляция изображений, обнаружение изменений и попиксельная регрессия. Затем мы исследуем передний край базовых моделей, включая Segment Anything Model (SAM), визуально-языковые модели и спутниковые эмбединги. Наконец, отдельный раздел о плагинах QGIS переносит эти возможности ИИ в знакомую среду настольной ГИС, обеспечивая сложные рабочие процессы без написания кода.

Независимо от того, являетесь ли вы специалистом в области ГИС, стремящимся интегрировать ИИ в свои рабочие процессы, специалистом по данным, интересующимся геопространственными приложениями, исследователем, раздвигающим границы наблюдения Земли, или студентом, начинающим карьеру на стыке географии и машинного обучения, эта книга даст вам знания и навыки для превращения спутниковых снимков в полезную информацию.

Будущее геопространственного анализа – интеллектуальное, автоматизированное и доступное. Давайте построим его вместе.

Для кого эта книга

Эта книга предназначена для всех, кто хочет применять искусственный интеллект к геопространственным данным. Если вы когда-нибудь смотрели на спутниковый снимок, задаваясь вопросом, как автоматически извлечь здания, дороги или земельный покров, или если вы обучали модели глубокого обучения, но испытывали трудности с их применением к географическим данным с проекциями, координатами и огромными размерами файлов – эта книга для вас.

Книга будет наиболее полезна, если вы

Специалист в области ГИС, готовый выйти за рамки ручной оцифровки и визуальной интерпретации. Вы владеете QGIS или ArcGIS и понимаете концепции пространственного анализа, но хотите использовать глубокое обучение для автоматизации извлечения объектов, классификации земельного покрова в масштабе или обнаружения изменений по временным рядам снимков.

Ученый или исследователь в области дистанционного зондирования, работающий со спутниковыми или аэрофотоснимками. Вы понимаете спектральные каналы, пространственное разрешение и предварительную обработку изображений, но вам нужен практический мост к современным методам ИИ – от обучения моделей сегментации до применения базовых моделей, таких как SAM, к вашим территориям исследования.

Специалист по данным или инженер по машинному обучению с опытом в глубоком обучении, желающий применить свои навыки к геопространственным задачам. Вы уверенно работаете с PyTorch или TensorFlow и понимаете CNN и трансформеры, но вам нужны рекомендации по уникальным проблемам географических данных: системы координат, нарезка больших растров на тайлы, работа с многоканальными изображениями и геопривязка результатов моделей.

Аспирант или начинающий исследователь в области географии, наук об окружающей среде, градостроительства, экологии или смежных областей. Ваше исследование включает пространственные данные, и вы хотите внедрить передовые методы ИИ в свою диссертацию или публикации, одновременно развивая востребованные навыки.

Разработчик программного обеспечения, создающий геопространственные приложения, требующие интеллектуального анализа. Вам нужно интегрировать извлечение объектов, классификацию или обнаружение изменений на основе ИИ в веб-приложения, API или автоматизированные конвейеры, и вы хотите понять полный рабочий процесс от обучения модели до развертывания.

Необходимые предварительные знания

Вы должны быть уверены в следующем:

- **Программирование на Python:** переменные, функции, классы и импорт библиотек (глубокие знания Python не требуются)

- **Базовый анализ данных:** работа с табличными данными, фильтрация, агрегирование и построение графиков
- **Основные геопространственные концепции:** понимание того, что данные привязаны к местоположению, что такое растровые и векторные данные, базовое знакомство с системами координат
- **Основы командной строки:** навигация по каталогам, запуск скриптов и установка пакетов

Полезный, но не обязательный опыт

- Опыт работы с фреймворками глубокого обучения (PyTorch, TensorFlow)
- Знакомство с концепциями дистанционного зондирования (спектральные каналы, пространственное разрешение, классификация изображений)
- Предыдущий опыт работы с геопространственными библиотеками Python (rasterio, geopandas, leafmap)
- Понимание основ машинного обучения (обучение и вывод, переобучение, метрики оценки)

Если вы новичок в геопространственном программировании на Python

Если вы новичок в геопространственном программировании на Python, следующая книга предоставит отличное введение как в основные концепции ГИС, так и в программирование на Python:

Wu, Q. (2025). *Introduction to GIS Programming: A Practical Python Guide to Open Source Geospatial Tools*. Independently published. PDF edition ISBN 9798993859712; Print edition ISBN 979-8286979455. Available at gispro.gishub.org.

Для тех, кто интересуется управлением пространственными данными и геопространственной аналитикой на основе SQL, книга-компаньон предлагает всестороннее руководство:

Wu, Q. (2025). *Spatial Data Management with DuckDB*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859705; Print edition ISBN 979-8274710572. Available at duckdb.gishub.org.

Содержание книги

Эта книга предлагает структурированный путь от основ геопространственных технологий до готовых к использованию приложений GeoAI, предоставляя вам практические навыки через практические примеры на каждом этапе. Каждая глава опирается на предыдущую, постепенно расширяя вашу способность применять ИИ к реальным геопространственным задачам.

Часть I: Основы (Главы 1–3)

Формирование базовых знаний и инструментов, лежащих в основе всего последующего содержания:

- **Глава 1: Введение в GeoAI** предоставляет всесторонний обзор ландшафта GeoAI: что это такое, почему это важно и как глубокое обучение преобразило геопространственный анализ. Вы изучите ключевые задачи ИИ в дистанционном зондировании, познакомитесь с экосистемой Python для GeoAI и поймете, куда базовые модели и агенты ИИ ведут эту область.
- **Глава 2: Настройка среды** проведет вас через конфигурацию полноценной среды разработки GeoAI. От установки Python и управления пакетами с помощью conda до настройки ускорения

на GPU с CUDA и PyTorch – эта глава обеспечит вам надежную, воспроизводимую основу для всей последующей практической работы.

- **Глава 3: Форматы геопространственных данных** охватывает форматы данных, с которыми вы столкнетесь на протяжении всей книги, включая растровые форматы (GeoTIFF и Cloud Optimized GeoTIFF (COG)), векторные форматы (GeoJSON и GeoParquet) и специализированные форматы для глубокого обучения (аннотации COCO и Pascal VOC). Вы научитесь читать, записывать и конвертировать форматы с помощью Python.

К концу Части I у вас будет полностью настроенная среда глубокого обучения и твердое понимание форматов данных и концепций, необходимых для работы с GeoAI.

Часть II: Получение и подготовка данных (Главы 4–6)

Освоение критически важной, но часто недооцениваемой работы по получению и подготовке геопространственных данных для ИИ:

- **Глава 4: Загрузка данных дистанционного зондирования** научит вас программно получать доступ к спутниковым снимкам, данным о рельефе и другим геопространственным наборам данных из таких источников, как Google Earth Engine, Microsoft Planetary Computer и различные порталы открытых данных. Вы научитесь эффективно искать, фильтровать и загружать данные для ваших территорий исследования.
- **Глава 5: Интерактивное картографирование и визуализация** знакомит с мощными инструментами визуализации для интерактивного исследования геопространственных данных. Используя leafmap и другие библиотеки, вы создадите интерактивные карты, наложите спутниковые снимки, визуализируете предсказания моделей и построите наглядные визуальные истории. Эти навыки необходимы как для исследовательского анализа, так и для представления результатов.
- **Глава 6: Создание обучающих данных** рассматривает один из важнейших этапов любого конвейера ИИ: подготовку высококачественных обучающих наборов данных. Вы научитесь создавать размеченные наборы данных для задач сегментации, обнаружения и классификации, включая стратегии аннотирования и нарезку больших спутниковых снимков на обучающие фрагменты.

К концу Части II вы сможете получать спутниковые снимки из различных источников, визуализировать их интерактивно и готовить хорошо структурированные обучающие наборы данных для моделей глубокого обучения.

Часть III: Основные задачи ИИ (Главы 7–13)

Погружение в фундаментальные задачи ИИ, определяющие современный геопространственный анализ:

- **Глава 7: Распознавание изображений** вводит глубокое обучение для классификации целых изображений. Вы научитесь строить модели классификации изображений, которые идентифицируют типы сцен, категории землепользования и географические объекты по спутниковым и аэрофотоснимкам.
- **Глава 8: Обнаружение объектов** научит вас находить и классифицировать отдельные объекты на геопространственных снимках. От обнаружения зданий и транспортных средств до идентификации деревьев и солнечных панелей – вы будете работать с такими архитектурами, как Faster R-CNN и YOLO, адаптированными для дистанционного зондирования.

- **Глава 9: Семантическая сегментация** охватывает попиксельную классификацию, присваивая метку класса каждому пикселю изображения. Вы обучите модели для выделения таких объектов, как водные объекты, растительность и застроенные территории, на спутниковых снимках, изучая архитектуры U-Net и DeepLabV3+.
- **Глава 10: Сегментация экземпляров** объединяет обнаружение и сегментацию, создавая точные границы для каждого отдельного объекта. Вы научитесь различать перекрывающиеся объекты, такие как отдельные контуры зданий в плотной городской застройке, используя модели типа Mask R-CNN.
- **Глава 11: Трансляция изображений** применяет ИИ для преобразования изображений между доменами, включая сверхразрешение, трансляцию между сенсорами и удаление облачности. Вы обучите модели на мультиспектральных спутниковых снимках и научитесь генерировать выходные данные с более высоким разрешением из входных данных с низким разрешением.
- **Глава 12: Обнаружение изменений** решает задачу определения того, что изменилось между снимками, сделанными в разное время. От расширения городов и вырубки лесов до оценки ущерба от стихийных бедствий – вы изучите как традиционные, так и основанные на глубоком обучении подходы к временному анализу.
- **Глава 13: Попиксельная регрессия** выходит за рамки классификации к предсказанию непрерывных значений для каждого пикселя, таких как высота полого, биомасса, влажность почвы или плотность населения. Вы обучите регрессионные модели на спутниковых снимках и изучите стратегии оценки, специфичные для непрерывных предсказаний.

К концу *Части III* вы получите практический опыт работы со всеми основными задачами GeoAI, поймете, когда применять каждый подход, и сможете обучать и оценивать модели для своих геопространственных приложений.

Часть IV: Базовые модели и спутниковые эмбединги (Главы 14–16)

Исследование передового края GeoAI, где предварительно обученные базовые модели переопределяют возможности:

- **Глава 14: Segment Anything для геопространственных данных** представляет Segment Anything Model (SAM) и её применение к геопространственным снимкам. Используя пакет [segment-geospatial](#), вы научитесь сегментировать спутниковые снимки с минимальными подсказками, извлекая здания, сельскохозяйственные поля, водные объекты и многое другое без специализированного обучения.
- **Глава 15: Визуально-языковые модели** исследует модели, связывающие визуальное и текстовое понимание. Вы научитесь делать запросы к спутниковым снимкам на естественном языке, генерировать описания геопространственных сцен и использовать мультимодальные модели для задач, таких как ответы на вопросы по данным дистанционного зондирования.
- **Глава 16: Спутниковые эмбединги** исследует быстрорастущую экосистему предвычисленных наборов спутниковых эмбедингов от базовых моделей. Вы научитесь просматривать, загружать и визуализировать эмбединги из девяти наборов данных, включая Clay, TESSERA и Google AlphaEarth, выполнять поиск по сходству и кластеризацию, а также обучать легковесные классификаторы на векторах эмбедингов.

К концу *Части IV* вы поймете, как базовые модели преобразуют GeoAI, и будете готовы применять эти передовые методы в своих исследованиях и проектах.

Часть V: Плагины QGIS (Главы 17–23)

Перенос возможностей GeoAI в знакомую среду настольной ГИС QGIS через плагин GeoAI:

- **Глава 17: Настройка плагина GeoAI для QGIS** проведет вас через установку и настройку плагина GeoAI для QGIS. Вы воспользуетесь встроенным установщиком зависимостей или настроите среду Pixi с поддержкой PyTorch и CUDA, установите плагин и научитесь управлять памятью GPU для запуска больших моделей ИИ в QGIS.
- **Глава 18: Сегментация деревьев в QGIS** демонстрирует панель сегментации деревьев для обнаружения крон деревьев и экологического обнаружения объектов. Вы загрузите предобученные модели для деревьев, птиц, домашнего скота, гнезд и мертвых деревьев, настроите параметры предсказания для отдельных изображений и больших тайлов и экспортируете результаты в векторном, растровом форматах и форматах обучающих данных.
- **Глава 19: Сегментация водных объектов в QGIS** охватывает панель сегментации водных объектов для автоматического обнаружения водоемов с помощью OmniWaterMask. Вы настроите порядок каналов для различных сенсоров, отрегулируете параметры вывода на основе фрагментов, интегрируете данные OpenStreetMap для уточнения и экспортируете маски воды в растровом и векторном форматах.
- **Глава 20: Визуально-языковые модели в QGIS** демонстрирует панель Moondream VLM для взаимодействия с геопространственными снимками на естественном языке. Вы будете генерировать описания изображений, задавать вопросы о видимых объектах, обнаруживать объекты с помощью ограничивающих рамок и находить объекты с помощью точечных маркеров.
- **Глава 21: Segment Anything в QGIS** демонстрирует панель Segment Anything для интерактивной и автоматической сегментации. Вы загрузите SAM 3, сегментируете объекты с помощью текстовых подсказок, выполните интерактивную сегментацию с использованием точечных и рамочных подсказок, обработаете пакеты объектов и экспортируете геопривязанные результаты.
- **Глава 22: Семантическая сегментация в QGIS** охватывает полный рабочий процесс от обучения до вывода для попиксельной классификации без написания кода. Вы создадите обучающие наборы данных, выберете архитектуры (U-Net, DeepLabV3+ или SegFormer), обучите пользовательские модели и выполните вывод с векторизацией и сглаживанием.
- **Глава 23: Сегментация экземпляров в QGIS** демонстрирует обнаружение объектов на уровне экземпляров с помощью Mask R-CNN. Вы создадите обучающие данные экземпляров в формате PASCAL_VOC, обучите модели для обнаружения и выделения отдельных объектов и используете поэкземплярный вывод для подсчета, измерений и пространственного анализа.

К концу Части V вы сможете выполнять сложные рабочие процессы GeoAI непосредственно в QGIS, делая анализ на основе ИИ доступным для специалистов ГИС без необходимости экспертизы в программировании на Python.

Сквозные темы

- **Практическая работа:** Каждая концепция сопровождается исполняемыми примерами кода с использованием реальных геопространственных данных.
- **Инструменты с открытым исходным кодом:** Все программное обеспечение, используемое в книге, является бесплатным и с открытым исходным кодом, что обеспечивает доступность и воспроизводимость.
- **Масштабируемые рабочие процессы:** Методы, работающие на ноутбуке и масштабируемые на облачную инфраструктуру.

- **Реальные приложения:** Примеры из мониторинга окружающей среды, городской аналитики, сельского хозяйства и реагирования на стихийные бедствия.
- **Воспроизводимость:** Весь код и данные доступны на GitHub, что позволяет воспроизвести каждый результат книги.

Как извлечь максимум из этой книги

Чтобы получить максимальную пользу от обучения с этой книгой, учтите следующие рекомендации:

Настройте среду заранее: Внимательно следуйте Главе 2 для настройки среды Python с поддержкой GPU. Многие задачи GeoAI значительно выигрывают от ускорения на GPU, и правильно настроенная среда сэкономит вам массу времени на протяжении всей книги. Если у вас нет локального GPU, книга содержит руководство по использованию облачных платформ с GPU, таких как Google Colab.

Работайте параллельно с кодом: Эта книга создана для интерактивной работы. Не просто читайте код. Набирайте его, запускайте и наблюдайте за результатами. Изменяйте параметры, пробуйте разные наборы данных и экспериментируйте. Понимание приходит через практику, и практические примеры составляют основу этой книги. Когда что-то не работает так, как ожидалось, не поддавайтесь желанию пропустить это место. Отладка – один из самых ценных обучающих опытов, и навыки устранения неполадок, которые вы разовьете, будут служить вам на протяжении всей карьеры в GeoAI.

Проходите главы последовательно: Хотя опытные специалисты могут обращаться к конкретным темам, главы строятся одна на другой. Концепции, введенные в ранних главах (настройка среды, форматы данных, методы визуализации), используются на протяжении всей книги. Если вы забегаете вперед, возвращайтесь при необходимости.

Используйте собственные данные: Хотя книга предоставляет наборы данных для каждого примера, настоящее обучение происходит, когда вы применяете эти методы к данным, которые вам важны. Попробуйте запустить модели сегментации на снимках вашей территории исследования или обучить модель обнаружения объектов на интересующих вас объектах.

Не бойтесь ошибок: Обучение моделей глубокого обучения – итеративный процесс. Модели не всегда сходятся с первой попытки, предсказания не всегда идеальны, а GPU иногда исчерпывают память. Это возможности для обучения. Книга рассматривает распространенные ошибки и стратегии отладки, но интуиция для диагностики проблем приходит с опытом.

Создайте портфолио-проект: По мере прохождения книги определите геопространственную задачу, которая вас интересует, и примените изучаемые методы. Завершенный проект – от получения данных до обучения модели и визуализации – демонстрирует ваши навыки гораздо эффективнее любого сертификата.

Следите за обновлениями: GeoAI – быстро развивающаяся область. Регулярно появляются новые базовые модели, архитектуры и инструменты. Репозиторий книги на GitHub периодически обновляется новым содержанием и примерами для продолжения вашего обучения.

Условные обозначения в этой книге

В этой книге используются несколько условных обозначений, помогающих ориентироваться в содержании и понимать примеры кода:

Оформление кода: Весь код Python отображается моноширинным шрифтом в блоках кода. Когда код встречается в обычном тексте, он оформлен вот так . Имена файлов и каталогов, названия пакетов и имена функций также оформлены моноширинным шрифтом.

Примеры кода: Большинство примеров кода являются полными и исполняемыми. Они содержат комментарии, поясняющие ключевые концепции и демонстрируемые методы. Вот типичный пример с использованием библиотеки `leafmap` :

```
import leafmap

m = leafmap.Map(center=[40, -100], zoom=4)
m.add_basemap("Esri.WorldImagery")
m
```

Импорт пакетов: В начале каждой главы перечислены все необходимые импорты. Ключевые пакеты, которые вы встретите на протяжении всей книги:

- `geoai` – высокоуровневые рабочие процессы GeoAI (opengeoai.org)
- `leafmap` – интерактивная геопространственная визуализация (leafmap.org)
- `samgeo` – SAM для геопространственных данных (samgeo.gishub.org)
- `torch` / `torchvision` / `torchgeo` – глубокое обучение с PyTorch
- `rasterio` / `geopandas` – чтение и запись геопространственных данных

Рисунки и карты: Интерактивные карты отображаются непосредственно в Jupyter notebooks. В печатном издании показаны статические снимки с подписями, описывающими интерактивные функции, доступные в онлайн-версии.

Загрузка примеров кода

Все примеры кода и дополнительные материалы к этой книге свободно доступны на GitHub: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book>

Все примеры наборов данных доступны на Source Cooperative: <https://source.coop/opengeos/geoai>

Для загрузки материалов вы можете воспользоваться одним из следующих способов:

- **Клонирование репозитория** (рекомендуется, если у вас установлен Git):

```
$ git clone https://github.com/giswqs/GeoAI-Book.git
```

- **Загрузка в виде ZIP** (если вы предпочитаете не использовать Git):
 - Перейдите на страницу репозитория на GitHub
 - Нажмите зеленую кнопку **Code**
 - Выберите **Download ZIP**
 - Распакуйте файлы в удобное место

- **Просмотр отдельных файлов** онлайн через интерфейс GitHub или веб-сайт книги по адресу book.opengeoai.org

Репозиторий регулярно обновляется исправлениями, улучшениями и дополнительными примерами. Периодически проверяйте обновления или добавьте **star** и **watch** репозиторию на GitHub, чтобы получать уведомления об изменениях.

Если вы обнаружите ошибки в коде или у вас есть предложения по улучшению, пожалуйста, откройте issue или отправьте pull request на GitHub. Вклад сообщества помогает сделать этот ресурс лучше для всех.

Видеоуроки

В дополнение к текстовому содержанию эта книга сопровождается видеоуроками, которые проведут вас через ключевые концепции и предоставят дополнительные демонстрации:

<https://youtube.com/@giswqs>

Видеоуроки разработаны в дополнение к текстовому материалу, а не в качестве его замены. Они особенно полезны для:

- Визуальных учеников, которым полезно видеть, как код пишется и выполняется в реальном времени
- Понимания сложных рабочих процессов, таких как обучение и вывод моделей, через пошаговые разборы
- Наблюдения за тем, как подходить к геопространственным задачам и отлаживать распространенные ошибки
- Изучения советов и лучших практик по работе с большими спутниковыми наборами данных

Дополнительные видеоуроки будут добавляться по мере развития книги. Подпишитесь на канал, чтобы получать уведомления о новом содержании.

Сообщество и обратная связь

Я приветствую отзывы, вопросы и предложения от читателей. Ваш вклад помогает улучшить книгу и делает её более полезной для сообщества GeoAI.

По вопросам, связанным с книгой:

- GitHub Issues: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/issues>
- GitHub Discussions: <https://github.com/giswqs/GeoAI-Book/discussions>

По вопросам, связанным с конкретными пакетами:

- `geoai`: <https://github.com/opengeos/geoai/issues>
- `leafmap`: <https://github.com/opengeos/leafmap/issues>
- `segment-geospatial`: <https://github.com/opengeos/segment-geospatial/issues>

Особенно полезны следующие виды обратной связи:

- Ошибки или непонятные объяснения в тексте или коде
- Предложения по дополнительным примерам, наборам данных или сценариям использования
- Сообщения о проблемах совместимости с различными операционными системами, конфигурациями GPU или версиями библиотек
- Идеи для новых тем или новых методов GeoAI

- Истории успеха о том, как вы применили методы из книги в своей работе

Об авторе

Д-р Цюшэн У (Qiusheng Wu) – доцент и директор программ магистратуры на кафедре географии и устойчивого развития Университета Теннесси в Ноксвилле. Он также работает как Amazon Scholar. Исследования д-ра У сосредоточены на развитии геопространственной аналитики с открытым исходным кодом с использованием облачных вычислений и GeoAI, с акцентом на использование больших геопространственных данных и искусственного интеллекта для изучения изменений окружающей среды, в частности динамики поверхностных вод и затопления водно-болотных угодий.

Он является создателем и разработчиком нескольких широко используемых пакетов Python с открытым исходным кодом, включая [geemap](https://geemap.org)¹ для интерактивной визуализации Google Earth Engine, [leafmap](https://leafmap.org)² для универсального геопространственного картографирования, [segment-geospatial](https://samgeo.gishub.org)³ для применения Segment Anything Model к геопространственным данным и [geoai](https://opengeoai.org)⁴ для высокоуровневых рабочих процессов GeoAI. Его проекты с открытым исходным кодом, доступные через организацию [Open Geospatial Solutions](https://opengeosolutions.org)⁵ на GitHub, широко используются исследователями, преподавателями и практикующими специалистами по всему миру.

Работа д-ра У объединяет дистанционное зондирование, наблюдение Земли и искусственный интеллект, чтобы сделать крупномасштабные геопространственные данные более доступными, воспроизводимыми и интеллектуальными. Он увлечен открытой наукой и убежден, что лучшие инструменты для понимания нашей планеты должны быть свободно доступны каждому.

Лицензирование и авторские права

Эта книга следует принципам открытой науки и открытого образования. Для поддержки прозрачности, обучения и повторного использования **примеры кода** в этой книге выпущены под лицензией [Creative Commons Attribution 4.0 International \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Это означает, что вы можете свободно копировать, изменять и распространять код, в том числе в коммерческих целях, при условии надлежащего указания авторства.

Пожалуйста, указывайте авторство кода, ссылаясь на книгу или репозиторий GitHub:

Wu, Q. (2026). *GeoAI with Python: A Practical Guide to Open-Source Geospatial AI*. Independently published. PDF edition ISBN 979-8993859729; Print edition ISBN 979-8253507414. Available at book.opengeoai.org.

Хотя код находится в свободном доступе, **текст, рисунки и изображения** в этой книге **защищены авторским правом** (с) 2026 автора и не могут быть воспроизведены, перераспределены или изменены без явного разрешения. Это включает весь текстовый контент, пользовательские диаграммы и встроенные визуализации, если не указано иное.

Если вы хотите повторно использовать или адаптировать любые некодовые материалы из книги (например, для преподавания, презентаций или публикаций), пожалуйста, свяжитесь с автором для получения разрешения.

¹<https://geemap.org>

²<https://leafmap.org>

³<https://samgeo.gishub.org>

⁴<https://opengeoai.org>

⁵<https://github.com/opengeos>

Такой подход с двойным лицензированием помогает сбалансировать открытый доступ к учебным материалам с защитой оригинальной творческой работы. Благодарим вас за соблюдение этих условий и поддержку геопространственного сообщества с открытым исходным кодом.

Практическое руководство по геопространственному ИИ с открытым исходным кодом

Искусственный интеллект меняет то, как мы анализируем и понимаем нашу планету. GeoAI с Python — это подробное практическое руководство по применению методов ИИ к геопространственным данным, от спутниковых снимков и аэрофотоснимков до векторных наборов данных и архивов наблюдений Земли.

Каждая глава включает сопровождающий Jupyter-ноутбук с реальными данными, чтобы вы могли следовать шаг за шагом и воспроизводить все результаты. Независимо от того, являетесь ли вы специалистом по ГИС, изучающим ИИ, или специалистом по анализу данных, впервые работающим с пространственными данными, эта книга объединяет оба мира.

Что вы узнаете

- Как загружать и подготавливать данные дистанционного зондирования из NAIP, Sentinel-2 и каталогов STAC
- Как обучать модели глубокого обучения для сегментации, обнаружения объектов и классификации земного покрова
- Как применять фундаментальные модели, такие как SAM 3, Moondream и спутниковые эмбединги, к реальным задачам
- Как создавать интерактивные карты и визуализации для геопространственного анализа
- Как использовать плагины QGIS для сегментации, обучения, инференса и моделей «зрение-язык»



Отсканируйте QR-код, чтобы посетить сайт книги и скачать примеры кода с <https://book.opengeoai.org>.

