

O'REILLY®

# Искусственный интеллект

и компьютерное  
зрение

Реальные проекты  
на Python, Keras  
и TensorFlow



Анирад Коул  
Сиддха Ганджу, Мехер Казам

---

# Краткое содержание

|  |     |
|--|-----|
| Вступление .....   | 20  |
| <b>Глава 1.</b> Обзор ландшафта искусственного интеллекта .....  | 32  |
| <b>Глава 2.</b> Что на картинке: классификация изображений с помощью Keras.....                            | 69  |
| <b>Глава 3.</b> Кошки против собак: перенос обучения с помощью Keras в 30 строках кода .....               | 83  |
| <b>Глава 4.</b> Создание механизма обратного поиска изображений. Эмбединги .....                           | 112 |
| <b>Глава 5.</b> От новичка до мастера прогнозирования: увеличение точности сверточной нейронной сети ..... | 151 |
| <b>Глава 6.</b> Увеличение скорости и эффективности TensorFlow: удобный чек-лист.....                      | 183 |
| <b>Глава 7.</b> Практические инструменты, советы и приемы .....  | 225 |
| <b>Глава 8.</b> Облачные API для компьютерного зрения: установка и запуск за 15 минут.....                 | 237 |
| <b>Глава 9.</b> Масштабируемый инференс в облаке с помощью TensorFlow Serving и KubeFlow .....             | 274 |
| <b>Глава 10.</b> ИИ в браузере с TensorFlow.js и ml5.js.....   | 304 |
| <b>Глава 11.</b> Классификация объектов в реальном времени в iOS с Core ML .....                           | 338 |
| <b>Глава 12.</b> Not Hotdog на iOS с Core ML и Create ML.....  | 379 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Глава 13.</b> Шазам для еды: разработка приложений для Android с помощью TensorFlow Lite и ML Kit.....                  | 400 |
| <b>Глава 14.</b> Создание приложения Purrfect Cat Locator с помощью TensorFlow Object Detection API.....                   | 445 |
| <b>Глава 15.</b> Как стать творцом: ИИ в краевых устройствах.....  | 487 |
| <b>Глава 16.</b> Моделирование беспилотного автомобиля методом сквозного глубокого обучения с использованием Keras.....    | 519 |
| <b>Глава 17.</b> Создание беспилотного автомобиля менее чем за час: обучение с подкреплением с помощью AWS DeepRacer ..... | 553 |
| <b>Приложение.</b> Краткое введение в сверточные нейронные сети .....  | 596 |
| Об авторах .....   | 605 |
| Иллюстрация на обложке.....  | 608 |

---

# Оглавление

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Вступление.....</b>   | <b>20</b> |
| Разработчикам.....   | 21        |
| Специалистам по данным.....                                    | 22        |
| Студентам.....   | 22        |
| Преподавателям.....  | 23        |
| Энтузиастам робототехники.....                                 | 23        |
| Обзор глав.....  | 23        |
| Условные обозначения.....                                      | 27        |
| Использование исходного кода примеров.....                     | 27        |
| Благодарности.....   | 28        |
| Коллективные благодарности.....                                | 28        |
| Личные благодарности.....                                      | 30        |
| <b>Глава 1. Обзор ландшафта искусственного интеллекта.....</b> | <b>32</b> |
| Извинения.....   | 33        |
| Настоящее вступление.....                                      | 34        |
| Что такое ИИ?.....   | 34        |
| Мотивирующие примеры.....                                      | 35        |
| Краткая история ИИ.....  | 37        |
| Захватывающее начало.....                                      | 38        |
| Холодные и мрачные дни.....                                    | 39        |
| Проблеск надежды.....  | 40        |
| Как глубокое обучение вошло в моду.....                        | 43        |
| Рецепт идеального решения задачи глубокого обучения.....       | 46        |
| Датасеты.....  | 47        |
| Архитектура модели.....  | 50        |
| Фреймворки.....  | 52        |
| Ответственный ИИ.....  | 59        |
| Предвзятость.....  | 60        |
| Прозрачность и объяснимость.....                               | 63        |
| Воспроизводимость.....   | 64        |
| Устойчивость.....  | 64        |
| Конфиденциальность.....  | 65        |

|  |            |
|--|------------|
| Итоги .....  | 66         |
| Часто задаваемые вопросы .....   | 66         |
| <b>Глава 2. Что на картинке: классификация изображений с помощью Keras ....</b>                | <b>69</b>  |
| Введение в Keras .....   | 70         |
| Классификация изображений .....  | 71         |
| Исследование модели .....  | 75         |
| Датасет ImageNet .....   | 76         |
| Зоопарк моделей .....  | 78         |
| Карты активации классов .....  | 79         |
| Итоги .....  | 82         |
| <b>Глава 3. Кошки против собак: перенос обучения с помощью Keras</b>                           | <b>83</b>  |
| <b>в 30 строках кода .....</b>   | <b>83</b>  |
| Адаптация предварительно обученных моделей к новым задачам .....                               | 84         |
| Неглубокое погружение в сверточные нейронные сети .....  | 85         |
| Перенос обучения .....   | 87         |
| Тонкая настройка .....   | 88         |
| Сколько слоев выбрать для тонкой настройки .....   | 89         |
| Создание специального классификатора методом переноса обучения<br>с использованием Keras ..... | 90         |
| Организация данных .....   | 91         |
| Создание пайплайна обработки данных .....  | 94         |
| Количество классов .....   | 94         |
| Размер пакета .....  | 95         |
| Аугментация данных .....   | 96         |
| Определение модели .....   | 99         |
| Обучение модели .....  | 100        |
| Настройка параметров обучения .....  | 100        |
| Запуск обучения .....  | 101        |
| Тестируем модель .....   | 102        |
| Анализ результатов .....   | 103        |
| Для дальнейшего чтения .....   | 110        |
| Итоги .....  | 111        |
| <b>Глава 4. Создание механизма обратного поиска изображений.</b>                               | <b>112</b> |
| <b>Эмбединги .....</b>   | <b>112</b> |
| Сходство изображений .....   | 113        |
| Извлечение признаков .....   | 116        |
| Поиск сходств .....  | 119        |

|   |     |
|---|-----|
| Визуализация кластеров изображений с помощью t-SNE.....                               | 123 |
| Увеличение скорости поиска сходств .....  | 126 |
| Длина векторов признаков.....   | 126 |
| Уменьшение длины векторов признаков с помощью метода главных компонент .....          | 128 |
| Масштабирование поиска сходства с помощью метода приближенных ближайших соседей ..... | 132 |
| Бенчмарк метода приближенных ближайших соседей.....                                   | 133 |
| Какую библиотеку выбрать?.....  | 134 |
| Создание синтетического датасета .....  | 135 |
| Полный перебор.....   | 135 |
| Annoy.....  | 136 |
| NGT .....   | 137 |
| Faiss .....   | 137 |
| Повышение точности с помощью тонкой настройки.....                                    | 138 |
| Тонкая настройка без полносвязных слоев .....   | 141 |
| Сиамские сети для распознавания лица однократным (one-shot) обучением.....            | 142 |
| Примеры из практики .....   | 144 |
| Flickr .....  | 144 |
| Pinterest .....   | 145 |
| Двойники знаменитостей .....  | 146 |
| Spotify.....  | 146 |
| Описание изображений .....  | 148 |
| Итоги .....   | 150 |

## **Глава 5. От новичка до мастера прогнозирования:**

|  |            |
|--|------------|
| <b>увеличение точности сверточной нейронной сети .....</b>             | <b>151</b> |
| Что понадобится для работы .....                                       | 152        |
| TensorFlow Datasets.....   | 153        |
| TensorBoard.....   | 154        |
| Инструмент What-If .....   | 157        |
| tf-explain.....  | 161        |
| Стандартные приемы для экспериментов с машинным обучением .....        | 163        |
| Проверка данных .....  | 164        |
| Разбиение данных на обучающую, проверочную и контрольную выборки ..... | 164        |
| Ранняя остановка .....   | 165        |
| Воспроизводимость экспериментов.....                                   | 166        |

|  |            |
|--|------------|
| Пример сквозного пайплайна глубокого обучения.....                                       | 166        |
| Простой пайплайн переноса обучения .....   | 166        |
| Простой пайплайн создания сети.....  | 169        |
| Влияние гиперпараметров на точность .....  | 169        |
| Сравнение переноса обучения и обучения с нуля.....                                       | 170        |
| Влияние количества слоев для тонкой настройки при переносе<br>обучения.....              | 171        |
| Влияние объема данных на перенос обучения.....   | 172        |
| Влияние скорости обучения .....  | 173        |
| Влияние оптимизатора .....   | 174        |
| Влияние размера пакета .....   | 175        |
| Влияние изменения размеров .....   | 176        |
| Влияние изменения соотношения сторон на перенос обучения.....                            | 177        |
| Инструменты автоматизации настройки моделей для достижения<br>максимальной точности..... | 178        |
| Keras Tuner.....   | 178        |
| AutoAugment .....  | 180        |
| AutoKeras .....  | 181        |
| Итоги .....  | 182        |
| <b>Глава 6. Увеличение скорости и эффективности TensorFlow:</b>                          |            |
| <b>удобный чек-лист .....</b>  | <b>183</b> |
| Голодание GPU .....  | 183        |
| nvidia-smi.....  | 184        |
| Профилировщик TensorFlow + TensorBoard .....   | 186        |
| Как использовать этот чек-лист.....  | 187        |
| Чек-лист настроек производительности.....  | 188        |
| Подготовка данных.....   | 188        |
| Чтение данных .....  | 188        |
| Аугментация данных .....   | 188        |
| Обучение .....   | 189        |
| Инференс.....  | 189        |
| Подготовка данных.....   | 190        |
| Сохраните данные в формате TFRecord .....  | 190        |
| Уменьшите размеры исходных данных.....   | 191        |
| Используйте TensorFlow Datasets .....  | 191        |
| Чтение данных .....  | 192        |
| Используйте tf.data .....  | 192        |
| Организируйте предварительное извлечение данных .....                                    | 193        |

---

|  |            |
|--|------------|
| Организируйте параллельную обработку на CPU.....                                 | 194        |
| Организируйте параллельный ввод/вывод и обработку.....                           | 194        |
| Разрешите недетерминированный порядок следования данных .....                    | 194        |
| Кэшируйте данные.....  | 195        |
| Включите экспериментальные оптимизации.....                                      | 196        |
| Автоматическая настройка значений параметров.....                                | 197        |
| Аугментация данных.....  | 198        |
| Используйте GPU для аугментации.....   | 198        |
| Обучение.....  | 200        |
| Используйте автоматическую смешанную точность .....                              | 200        |
| Используйте пакеты большого размера.....   | 201        |
| Используйте значения, кратные восьми .....                                       | 203        |
| Определите оптимальную скорость обучения.....                                    | 203        |
| Используйте tf.function .....  | 205        |
| Переобучите и научите обобщать .....   | 207        |
| Установите оптимизированный программный стек для поддержки<br>оборудования ..... | 209        |
| Оптимизируйте количество потоков, выполняющихся<br>на CPU параллельно.....       | 210        |
| Используйте более производительное оборудование .....                            | 212        |
| Используйте распределенное обучение.....   | 212        |
| Изучите отраслевые бенчмарки.....  | 214        |
| Инференс .....   | 216        |
| Используйте эффективную модель.....  | 216        |
| Используйте квантование модели .....   | 219        |
| Прореживайте модели .....  | 222        |
| Используйте совмещенные операции.....  | 223        |
| Включите сохранение состояния GPU .....  | 223        |
| Итоги .....  | 224        |
| <b>Глава 7. Практические инструменты, советы и приемы.....</b>                   | <b>225</b> |
| Установка.....   | 225        |
| Обучение.....  | 227        |
| Модель .....   | 229        |
| Данные .....   | 230        |
| Защищенность .....   | 233        |
| Обучение и исследования.....   | 234        |
| Последний вопрос .....   | 236        |



---

|  |            |
|--|------------|
| <b>Глава 8. Облачные API для компьютерного зрения: установка и запуск за 15 минут</b> .....    | <b>237</b> |
| Ландшафт API распознавания образов .....   | 239        |
| Clarifai .....   | 239        |
| Microsoft Cognitive Services .....   | 240        |
| Google Cloud Vision .....  | 240        |
| Amazon Rekognition.....  | 242        |
| IBM Watson Visual Recognition .....  | 242        |
| Algorithmia.....   | 244        |
| Сравнение API для распознавания образов.....   | 245        |
| Предлагаемые услуги .....  | 245        |
| Стоимость.....   | 246        |
| Точность.....  | 247        |
| Предвзятость.....  | 249        |
| Подготовка и использование облачных API.....   | 252        |
| Обучение собственного классификатора .....   | 255        |
| Основные причины плохой работы классификатора .....  | 260        |
| Сравнение качества работы собственных классификаторов в разных API ...                         | 261        |
| Настройка производительности облачных API.....   | 264        |
| Влияние изменения разрешения на API разметки изображений.....                                  | 265        |
| Влияние сжатия на API разметки изображений .....   | 265        |
| Влияние сжатия на API оптического распознавания символов .....                                 | 266        |
| Влияние изменения разрешения на API оптического распознавания<br>символов .....                | 266        |
| Примеры.....   | 267        |
| New York Times .....   | 268        |
| Uber .....   | 268        |
| Giphy.....   | 268        |
| OmniEarth .....  | 271        |
| Photobucket.....   | 271        |
| Staples .....  | 271        |
| InDro Robotics.....  | 272        |
| Итоги .....  | 273        |
| <b>Глава 9. Масштабируемый инференс в облаке с помощью TensorFlow Serving и KubeFlow</b> ..... | <b>274</b> |
| Ландшафт услуг прогнозирования с помощью ИИ .....  | 275        |
| Flask: создание собственного сервера .....   | 277        |
| Создание REST API с помощью Flask.....   | 277        |

---

|   |            |
|---|------------|
| Развертывание модели Keras в Flask.....                             | 278        |
| Плюсы использования Flask.....                                      | 279        |
| Минусы использования Flask.....                                     | 280        |
| Желаемые качества системы производственного уровня.....             | 280        |
| Высокая доступность.....  | 280        |
| Масштабируемость.....   | 281        |
| Низкая задержка.....  | 281        |
| Географическая доступность.....                                     | 282        |
| Обработка сбоев.....  | 283        |
| Мониторинг.....   | 283        |
| Управление версиями модели.....                                     | 283        |
| A/B-тестирование.....   | 284        |
| Поддержка нескольких библиотек машинного обучения.....              | 284        |
| Google Cloud ML Engine: управляемый стек облачных услуг ИИ.....     | 284        |
| Плюсы использования Cloud ML Engine.....                            | 285        |
| Минусы использования Cloud ML Engine.....                           | 285        |
| Создание API классификации.....                                     | 285        |
| TensorFlow Serving.....   | 292        |
| Установка.....  | 293        |
| KubeFlow.....   | 294        |
| Пайплайны.....  | 297        |
| Инструменты управления.....   | 297        |
| Установка.....  | 298        |
| Соотношение цены и производительности.....                          | 300        |
| Анализ затрат на управляемый стек Inference-as-a-Service.....       | 300        |
| Анализ затрат на создание собственного стека.....                   | 302        |
| Итоги.....  | 303        |
| <b>Глава 10. ИИ в браузере с TensorFlow.js и ml5.js.....</b>        | <b>304</b> |
| Библиотеки машинного обучения на JavaScript: краткая история.....   | 305        |
| ConvNetJS.....  | 306        |
| Keras.js.....   | 307        |
| ONNX.js.....  | 308        |
| TensorFlow.js.....  | 308        |
| Архитектура TensorFlow.js.....                                      | 310        |
| Использование предварительно обученных моделей с TensorFlow.js..... | 312        |
| Преобразование модели для использования в браузере.....             | 314        |
| Обучение в браузере.....  | 314        |
| Извлечение признаков.....   | 315        |

|   |     |
|---|-----|
| Сбор данных.....                                      | 317 |
| Обучение .....  | 317 |
| Нагрузка на GPU.....                                  | 319 |
| ml5.js.....   | 320 |
| PoseNet .....   | 322 |
| pix2pix.....  | 325 |
| Сравнительный анализ и практические рекомендации..... | 330 |
| Размер модели.....                                    | 331 |
| Время инференса .....                                 | 331 |
| Примеры.....  | 333 |
| Дирижер .....   | 333 |
| TensorSpace.....                                      | 334 |
| Metacar.....  | 335 |
| Классификация фотографий в Airbnb.....                | 336 |
| GAN Lab .....   | 336 |
| Итоги .....   | 337 |

## **Глава 11. Классификация объектов в реальном времени в iOS с Core ML.....338**

|  |     |
|--|-----|
| Жизненный цикл разработки искусственного интеллекта<br>для мобильных устройств ..... | 340 |
| Краткая история Core ML.....   | 342 |
| Альтернативы фреймворку Core ML.....   | 343 |
| TensorFlow Lite.....   | 344 |
| ML Kit .....   | 344 |
| Fritz.....   | 345 |
| Архитектура машинного обучения Apple.....  | 345 |
| Предметно-ориентированные фреймворки .....   | 346 |
| ML Framework.....  | 346 |
| Оптимизированные примитивы ML .....  | 346 |
| Приложение для распознавания объектов в реальном времени.....                        | 347 |
| Конвертация моделей в формат Core ML .....   | 354 |
| Конвертация из формата Keras.....  | 354 |
| Конвертация из формата TensorFlow.....   | 354 |
| Развертывание динамической модели .....  | 356 |
| Обучение на устройстве .....   | 357 |
| Федеративное обучение .....  | 358 |
| Анализ качества моделей.....   | 358 |
| Бенчмарк моделей на iPhone.....  | 359 |

|  |            |
|--|------------|
| Оценка энергопотребления .....   | 363        |
| Оценка нагрузки .....  | 365        |
| Уменьшение размера приложения .....  | 368        |
| Не внедряйте модели в приложение .....   | 368        |
| Используйте квантование .....  | 369        |
| Используйте Create ML .....  | 370        |
| Примеры приложений .....   | 371        |
| Magic Sudoku .....   | 371        |
| Seeing AI .....  | 372        |
| HomeCourt .....  | 373        |
| InstaSaber + YoPuppet .....  | 374        |
| Итоги .....  | 377        |
| <b>Глава 12. Not Hotdog на iOS с Core ML и Create ML .....</b>   | <b>379</b> |
| Сбор данных .....  | 381        |
| Подход 1: поиск готового или создание своего датасета .....  | 381        |
| Подход 2: загрузка изображений с помощью расширения Fatkun<br>для браузера Chrome .....                        | 382        |
| Подход 3: загрузка с помощью Bing Image Search API .....   | 385        |
| Обучение модели .....  | 386        |
| Подход 1: с помощью инструментов с веб-интерфейсом .....   | 386        |
| Подход 2: с помощью Create ML .....  | 390        |
| Подход 3: тонкая настройка с использованием Keras .....  | 396        |
| Конвертация модели с использованием Core ML Tools .....  | 397        |
| Создание приложения для iOS .....  | 397        |
| Что можно сделать дальше .....   | 398        |
| Итоги .....  | 399        |
| <b>Глава 13. Шазам для еды: разработка приложений для Android<br/>с помощью TensorFlow Lite и ML Kit .....</b> | <b>400</b> |
| Цикл разработки приложения для классификации блюд .....  | 401        |
| Обзор TensorFlow Lite .....  | 403        |
| Архитектура TensorFlow Lite .....  | 406        |
| Конвертация модели в формат TensorFlow Lite .....  | 407        |
| Создание приложения для распознавания объектов .....   | 408        |
| ML Kit + Firebase .....  | 415        |
| Классификация объектов в ML Kit .....  | 417        |
| Использование своих моделей в ML Kit .....   | 417        |
| Модели, размещенные в облаке .....   | 419        |

|   |            |
|---|------------|
| А/В-тестирование моделей, размещенных в облаке .....  | 423        |
| Использование эксперимента в коде .....   | 426        |
| TensorFlow Lite в iOS .....   | 427        |
| Оптимизация производительности .....  | 428        |
| Квантование с помощью TensorFlow Lite Converter .....   | 428        |
| Набор инструментов TensorFlow для оптимизации моделей .....   | 428        |
| Fritz .....   | 429        |
| Целостный взгляд на цикл разработки мобильных приложений ИИ .....   | 432        |
| Как собирать данные? .....  | 433        |
| Как размечать данные? .....   | 434        |
| Как обучить модель? .....   | 434        |
| Как конвертировать модель в формат для мобильных устройств? .....   | 434        |
| Как оптимизировать производительность модели? .....   | 435        |
| Как повысить привлекательность для пользователей? .....   | 435        |
| Как развернуть модель? .....  | 436        |
| Как оценить успешность модели? .....  | 436        |
| Как совершенствовать модель? .....  | 436        |
| Как обновить модель на телефонах пользователей? .....   | 437        |
| Самосовершенствующаяся модель .....   | 437        |
| Примеры из практики .....   | 439        |
| Lose It! .....  | 439        |
| Режим портретной съемки на телефонах Pixel 3 .....  | 441        |
| Распознавание голоса от Alibaba .....   | 442        |
| Определение контуров лица с помощью ML Kit .....  | 442        |
| Сегментация видео в реальном времени в YouTube Stories .....  | 443        |
| Итоги .....   | 444        |
| <b>Глава 14. Создание приложения Purrfect Cat Locator</b><br><b>с помощью TensorFlow Object Detection API .....</b> | <b>445</b> |
| Виды задач компьютерного зрения .....   | 446        |
| Классификация .....   | 447        |
| Локализация .....   | 447        |
| Обнаружение .....   | 447        |
| Сегментация .....   | 448        |
| Способы обнаружения объектов .....  | 450        |
| Использование готовых облачных API обнаружения объектов .....   | 451        |
| Использование предварительно обученных моделей .....  | 453        |
| Получение модели .....  | 453        |

---

|  |            |
|--|------------|
| Тест-драйв модели .....  | 454        |
| Развертывание на устройстве .....                                      | 455        |
| Создание своей модели обнаружения объектов без программирования ....   | 456        |
| Развитие технологии обнаружения объектов .....                         | 460        |
| Вопросы производительности.....  | 462        |
| Ключевые термины в обнаружении объектов .....                          | 463        |
| Intersection over Union.....   | 464        |
| Mean Average Precision.....  | 465        |
| Non-Maximum Suppression.....   | 465        |
| Создание своих моделей с помощью TensorFlow Object Detection API ..... | 466        |
| Сбор данных.....   | 467        |
| Разметка данных .....  | 469        |
| Предварительная обработка данных.....                                  | 473        |
| Исследование модели.....   | 474        |
| Обучение .....   | 476        |
| Конвертация модели.....  | 478        |
| Сегментация изображений.....   | 479        |
| Примеры из практики .....  | 481        |
| Умный холодильник .....  | 481        |
| Подсчет толпы.....   | 482        |
| Распознавание лиц в приложении Seeing AI .....                         | 483        |
| Беспилотные автомобили.....  | 484        |
| Итоги .....  | 486        |
| <b>Глава 15. Как стать творцом: ИИ в краевых устройствах.....</b>      | <b>487</b> |
| Обзор краевых устройств ИИ .....                                       | 488        |
| Raspberry Pi.....  | 489        |
| Intel Movidius Neural Compute Stick.....                               | 491        |
| Google Coral USB Accelerator.....                                      | 492        |
| NVIDIA Jetson Nano.....  | 494        |
| FPGA + PYNQ .....  | 496        |
| Arduino.....   | 499        |
| Сравнение краевых устройств для ИИ.....                                | 501        |
| Raspberry Pi.....  | 504        |
| Ускорение с помощью Google Coral USB Accelerator.....                  | 506        |
| NVIDIA Jetson Nano .....   | 508        |
| Сравнение производительности краевых устройств .....                   | 511        |
| Примеры из практики .....  | 512        |

|  |            |
|--|------------|
| JetBot .....   | 512        |
| Билеты на проезд в метро за приседания .....   | 514        |
| Сортировщик огурцов .....  | 515        |
| Что изучать дальше .....   | 517        |
| Итоги .....  | 517        |
| <b>Глава 16. Моделирование беспилотного автомобиля методом сквозного глубокого обучения с использованием Keras.....</b>    | <b>519</b> |
| Краткая история автоматизации вождения.....  | 521        |
| Глубокое обучение, автономное вождение и проблема данных.....  | 522        |
| «Hello, World!» в автономном вождении: управление в моделируемой среде .....   | 525        |
| Инструменты и требования .....   | 525        |
| Исследование и подготовка данных .....   | 528        |
| Определение области интереса .....   | 530        |
| Аугментация данных .....   | 532        |
| Дисбаланс датасета и стратегии вождения .....  | 533        |
| Обучение модели автопилота .....   | 538        |
| Генератор данных.....  | 539        |
| Определение модели .....   | 542        |
| Развертывание модели автопилота .....  | 547        |
| Что изучать дальше .....   | 550        |
| Расширение датасета.....   | 551        |
| Обучение на последовательных данных.....   | 551        |
| Обучение с подкреплением .....   | 552        |
| Итоги .....  | 552        |
| <b>Глава 17. Создание беспилотного автомобиля менее чем за час: обучение с подкреплением с помощью AWS DeepRacer .....</b> | <b>553</b> |
| Краткое введение в обучение с подкреплением .....  | 554        |
| Почему для изучения обучения с подкреплением выбран беспилотный автомобиль?.....   | 555        |
| Практика глубокого обучения с подкреплением с DeepRacer.....   | 557        |
| Создание первой модели обучения с подкреплением .....  | 560        |
| Шаг 1: создание модели.....  | 561        |
| Шаг 2: настройка процесса обучения .....   | 562        |
| Шаг 3: обучение модели .....   | 570        |
| Шаг 4: оценка качества модели.....   | 571        |
| Обучение с подкреплением на практике.....  | 572        |

|   |            |
|---|------------|
| Как происходит обучение с подкреплением? .....                                    | 572        |
| Теория обучения с подкреплением .....   | 577        |
| Алгоритм обучения с подкреплением в AWS DeepRacer .....                           | 579        |
| Кратко о порядке глубокого обучения с подкреплением на примере<br>DeepRacer ..... | 581        |
| Шаг 5: улучшение модели обучения с подкреплением .....                            | 582        |
| Гонки на автомобиле AWS DeepRacer .....   | 587        |
| Создание трека .....  | 587        |
| Шаблон трека для AWS DeepRacer с одним поворотом .....                            | 588        |
| Запуск модели на автомобиле AWS DeepRacer .....                                   | 589        |
| Автономное вождение AWS DeepRacer .....   | 589        |
| Что изучать дальше .....  | 592        |
| Лига DeepRacer .....  | 592        |
| AWS DeepRacer с расширенными возможностями .....                                  | 592        |
| Олимпиада автопилотов с искусственным интеллектом .....                           | 592        |
| DIY Robocars .....  | 593        |
| Roborace .....  | 594        |
| Итоги .....   | 595        |
| <b>Приложение. Краткое введение в сверточные нейронные сети .....</b>             | <b>596</b> |
| Машинное обучение .....   | 596        |
| Перцептрон .....  | 596        |
| Функции активации .....   | 597        |
| Нейронные сети .....  | 598        |
| Обратное распространение ошибки .....   | 600        |
| Недостатки нейронных сетей .....  | 600        |
| Желаемые свойства классификатора изображений .....                                | 601        |
| Свертка .....   | 601        |
| Объединение .....   | 602        |
| Структура сверточной сети .....   | 602        |
| Что изучать дальше .....  | 604        |
| <b>Об авторах .....</b>   | <b>605</b> |
| Основные авторы .....   | 605        |
| Приглашенные авторы .....   | 606        |
| <b>Иллюстрация на обложке .....</b>   | <b>608</b> |