



ЭКОЛОГИЯ (ПО ОТРАСЛЯМ) **ECOLOGY (ITS BRANCHES)**

УДК 004.896

<https://doi.org/10.23947/2413-1474-2023-7-2-50-61>

Техническое обеспечение создания и обновления картографической основы местности. Перспектива внедрения нейросетей в процесс создания цифровых моделей рельефа

Тихонова К.В., Чепелев П.Д., Тихонов Д.А.

Донской государственный технический университет (г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация)

Рассматривается техническое обеспечение процесса создания картографической основы для повышения эффективности управления территориями. Обосновано, что цифровизация информации обо всех объектах управления базируется на первоначально реализуемом этапе подготовки цифровой модели местности и рельефа. От детализации и качества разрабатываемой картографической основы зависит эффективность принимаемых управленческих решений. Авторами обобщен практический опыт применения инновационных технологий в процессе разработки картографической основы, показано, что наиболее перспективным направлением здесь является внедрение нейронных сетей. Анализируется специфика их применения в процессе создания цифровой модели местности и рельефа.

Ключевые слова: цифровые модели местности и рельефа, геоинформационная основа, цифровизация, геоинформационные системы (ГИС), пространственные данные, нейросети, система управления инфраструктурой города

Для цитирования: Тихонова К.В., Чепелев П.Д., Тихонов Д.А. Техническое обеспечение создания и обновления картографической основы местности. Перспектива внедрения нейросетей в процесс создания цифровых моделей рельефа. *Экономика и экология территориальных образований. 2023;7(2):50–61. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2023-7-2-50-61>*

Technical Support for the Creation and Updating of the Cartographic Basis of the Locality. The Prospect of Introducing Neural Networks Into the Process of Creating Digital Terrain Models

Tikhonova K.V., Chepelev P.D., Tikhonov D.A.

Don State Technical University (Rostov-on-Don, Russian Federation)

The technical support of the process of creating a cartographic basis for improving the efficiency of territorial management is considered. It is proved that digitalization of information about all management objects is based on the initially implemented stage of preparation of a digital model of terrain and relief. The effectiveness of management decisions depends on the detail and quality of the developed cartographic framework. The authors summarize the practical experience of using innovative technologies in the process of developing a cartographic framework, it is shown that the most promising direction here is the introduction of neural networks. The specifics of their application in the process of creating a digital model of terrain and relief are analyzed.

Keywords: digital terrain and relief models, geoinformation framework, digitalization, geoinformation systems (GIS), spatial data, neural networks, city infrastructure management system

For citation: Tikhonova K.V., Chepelev P.D., Tikhonov D.A. Technical Support for the Creation and Updating of the Cartographic Basis of the Locality. The Prospect of Introducing Neural Networks Into the Process of Creating Digital Terrain Models. *Economy and Ecology of Territorial Formations*. 2023;7(2):50–61. <https://doi.org/10.23947/2413-1474-2023-7-2-50-61>

Введение. Картирование и обновление карт города сегодня неразрывно связаны с применением передовых технологий, которое играет ключевую роль в этом процессе. Для этих целей используются

– ГИС-системы, они предоставляют мощные инструменты для сбора, управления и анализа геопространственных данных. Технология ГИС позволяет интегрировать различные источники информации о территориях, включая картографические данные, снимки со спутников, результаты аэрофотосъемки и другие. ГИС-системы обеспечивают возможность создания и обновления цифровых карт и моделей инфраструктуры города, таких как дороги, мосты, здания и инженерные сети, а также дают возможность проводить пространственный анализ и планирование [1];

– беспилотные летательные аппараты (дроны) стали незаменимым средством для получения высококачественных геопространственных данных. Они могут использоваться для аэрофотосъемки, создания цифровых моделей местности, обновления карт и выполнения прочих задач. Дроны позволяют получить детальные и точные изображения, которые используются для создания трехмерных моделей, анализа изменений в городской среде и планирования новых проектов;

– цифровая модель местности (ЦММ) представляет собой числовое представление поверхности Земли, включая городскую территорию. Создание и обновление ЦММ является важным шагом в процессе картографирования города. Она позволяет получить информацию о высотах, рельефе, объектах и других характеристиках местности. ЦММ используется для создания точных и детальных карт города, а также для анализа и моделирования;

– дистанционное зондирование и спутниковые данные предоставляют ценную информацию для создания и обновления карт города. Снимки со спутников могут быть использованы для получения обзорной информации о территориях, выявления изменений на них, анализа землепользования и других аспектов. Эти данные могут быть интегрированы в ГИС-системы и использованы для обновления карт;

– дополненная реальность (AR) и виртуальная реальность (VR), данные технологии предоставляют возможность визуализации и взаимодействия с картами в новом измерении. Они могут использоваться для создания иммерсивных и интерактивных презентаций данных, позволяющих исследовать и воспринимать территории с помощью виртуальных моделей и симуляций;

– мобильные приложения и интерактивные платформы. Развитие мобильных технологий и интерактивных платформ значительно повысило доступность карт, например карт городов, для широкой аудитории. Мобильные приложения, веб-интерфейсы и другие средства дают возможность пользователям получать информацию, проводить навигацию, обновлять данные и делиться информацией о местности.

Объединение всех этих технических решений позволяет создавать актуальные, точные и интерактивные карты территорий, которые необходимы для планирования инфраструктуры, развития и улучшения городской среды. Это только некоторые идеи, связанные с техническим обеспечением создания и обновления карт, их применение может быть гораздо более разнообразным и индивидуальным в зависимости от конкретных потребностей.

Специфика создания цифровых моделей местности и рельефа и их роль в системе управления территориями. В последние десятилетия картография переживает период глубоких перемен и широкого внедрения технологических инноваций, вызванных информатизацией науки, производства и общества в целом. Разработка картографической основы местности прежде всего сопряжена с проведением геодезических изысканий с целью получения координатной привязки объектов и планово-высотного их обоснования. На сегодняшний момент наблюдается тенденция постепенного перехода от традиционных способов получения данных с применением геодезического оборудования к внедрению наиболее технологичных методов с использованием беспилотных систем (БПЛА). Данный способ значительно повышает эффективность работ и точность полученных данных.

Под цифровым картографированием местности понимается технологический процесс, системно объединяющий сбор и обработку цифровой топографической информации, формирование цифровой модели местности, хранение, дополнение и обновление ее с помощью банка данных, получение по этой модели различных аналитических и графических материалов [1].

Цифровая модель местности (ЦММ) — это трехмерное представление земной поверхности, обладающее высокой точностью и детализацией. Она создается на основе геопространственных данных и представляет собой совокупность геометрических точек (высотных центров), отображающих высоту, наклон, контуры и другие характеристики местности на определенном участке земной поверхности.

ЦММ создается с помощью различных спутниковых систем, лазерного сканирования, аэрофотосъемки и других методов. Сбор данных для создания ЦММ проводится по всей земной поверхности и включает в себя получение информации о рельефе, поверхности водных объектов, зданиях, дорожных сетях и других объектах. Эти данные в дальнейшем обрабатываются с помощью программных приложений, позволяющих создать трехмерную модель местности.

ЦММ широко используется в различных областях, включая строительство, транспорт, гидрологию, архитектуру, сельское хозяйство и другие. Она также является необходимой составляющей для беспилотных технологий, в частности, дронов, которые используют ЦММ для создания различных карт и 3D-моделей местности.

В архитектуре и строительстве ЦММ применяют для планирования размещения зданий, проектирования дорог и мостов, а также для определения оптимального расположения объектов на участке местности. В гидрологии ЦММ позволяет определить потоки воды, ее уровни, пути стока и другие связанные с водой явления на земной поверхности.

В области сельского хозяйства ЦММ используется для оптимизации выращивания культур, организации систем орошения и дренажа, а также для учета особенностей рельефа при планировании работ на полях. Пример цифровой модели местности представлен на рис. 1.

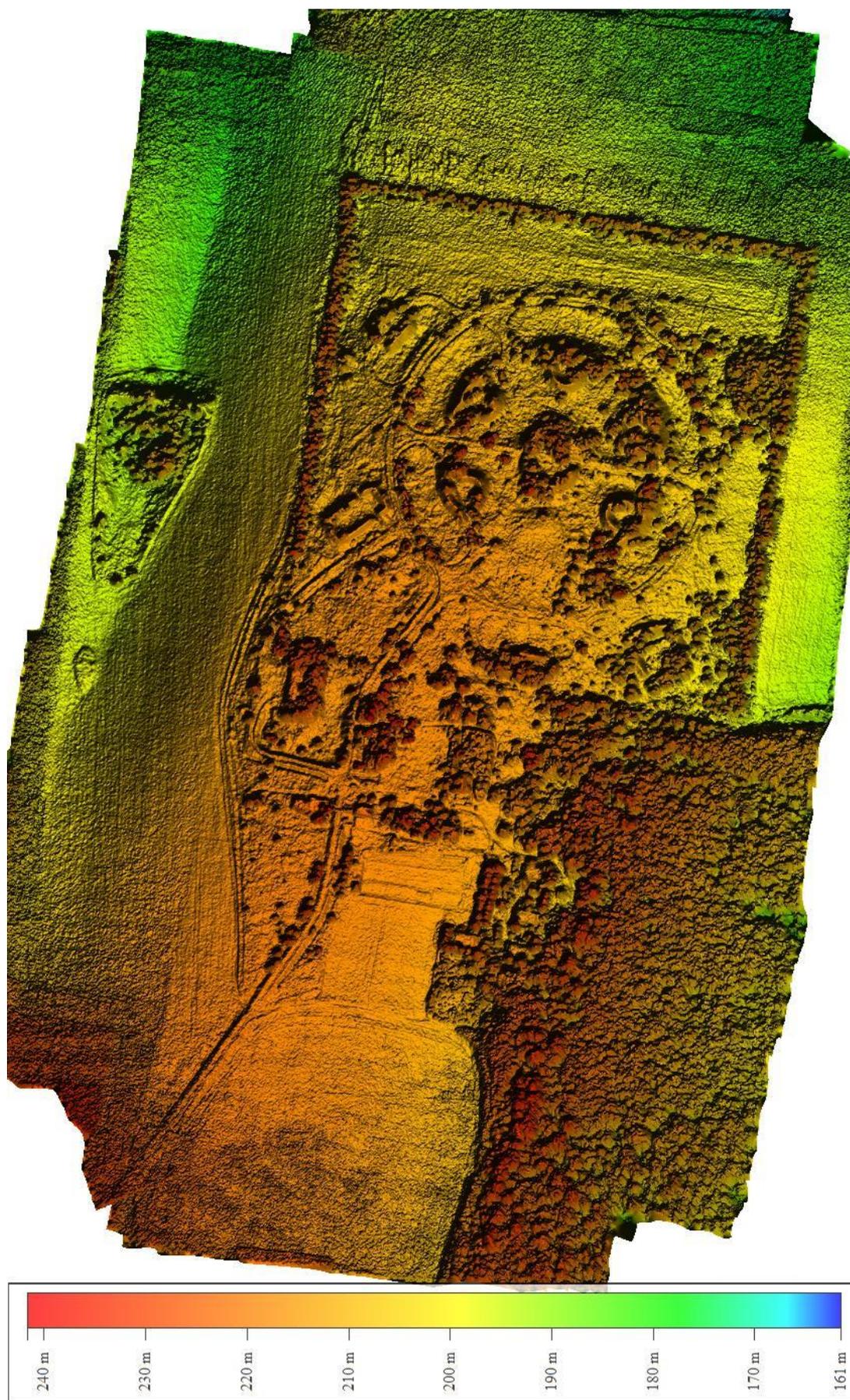


Рис. 1. Пример цифровой модели местности

Являясь неотъемлемой частью современных технологий и предоставляя точную информацию о земной поверхности, цифровые модели местности служат базой для создания широкого спектра картографической продукции, используемой землеустроительными и кадастровыми организациями. Это цифровые (электронные) карты, фотопланы, контурные фотопланы, топографические фотопланы, ортофотопланы, фотокарты и топографические планы [2].

Кроме того, цифровая модель местности имеет большой потенциал в дальнейшем развитии прогрессивных технологий. Это связано с высокой точностью и детализацией данных, которые могут быть использованы в различных инновационных средствах для ускорения процессов экономического развития, повышения уровня безопасности и качества жизни. Цифровая модель местности может быть основой для создания системы автоматизированного управления инфраструктурой города. Такая система может позволить управляющим органам города контролировать различные составляющие инфраструктуры, такие как дороги, мосты, тоннели, здания, канализационные и водопроводные сети и т. д. С использованием данных, полученных из цифровой модели местности, можно создать систему управления, которая будет учитывать особенности конкретного района города, в том числе узкие проезды, изменение освещения на определенных участках, уровни выпавших осадков, толщину снега и другие параметры.

Система автоматизированного управления инфраструктурой города может быть использована для мониторинга состояния дорог и обеспечения безопасности движения транспорта, быстрого и эффективного оповещения о происшествиях, управления освещением, для обеспечения правильного расхода воды и электроэнергии, контроля за состоянием зеленых насаждений и т. д.

Такая система может быть очень полезна для городов, которые стремятся к координированному и эффективному управлению инфраструктурой. Цифровая модель местности является необходимым инструментом для создания такой системы и обеспечивает точность и детализацию данных, которые необходимы для ее эффективной работы.

Помимо цифровой модели местности, существует другая разновидность 3D-карт — цифровая модель рельефа (ЦМР). Цифровая модель рельефа является неотъемлемой частью цифровой карты или цифровой модели местности, где объектом моделирования является рельеф местности.

Цифровая модель рельефа — это трехмерное отображение земной поверхности, представленное в виде массива точек с определяемой высотой. Она содержит информацию о высоте только истинного рельефа, без учета растительности, зданий и других антропогенных объектов. ЦМР используется для топографических карт при проектировании зданий и сооружений.

Рельеф является очертанием земной поверхности в совокупности всех ее неровностей, положительных и отрицательных форм. Традиционное изображение рельефа в виде топографической карты (в плоском виде) уступает место объемным моделям, созданным с помощью аэрофотоснимков.

При построении ЦМР применяют множество высотных пикетов — точек с известной геодезической координатной привязкой. ЦМР, полученная в результате стереофотограмметрической обработки аэрофотоснимков, обладает высокой точностью и информативностью. При этом создание цифровой модели осуществляется только по точкам, классифицируемым как точки рельефа земли. Для определения каждой высоты используют правило интерполяции высот, обеспечивающее получение детальной цифровой модели рельефа с различным расположением пикетов высоты. Пример цифровой модели рельефа представлен на рис. 2.

На сегодняшний день создание картографической основы максимально автоматизировано, и основой этого процесса является применение беспилотных летательных аппаратов для получения высококачественных геопространственных данных, что значительно повышает эффективность процессов картографирования.

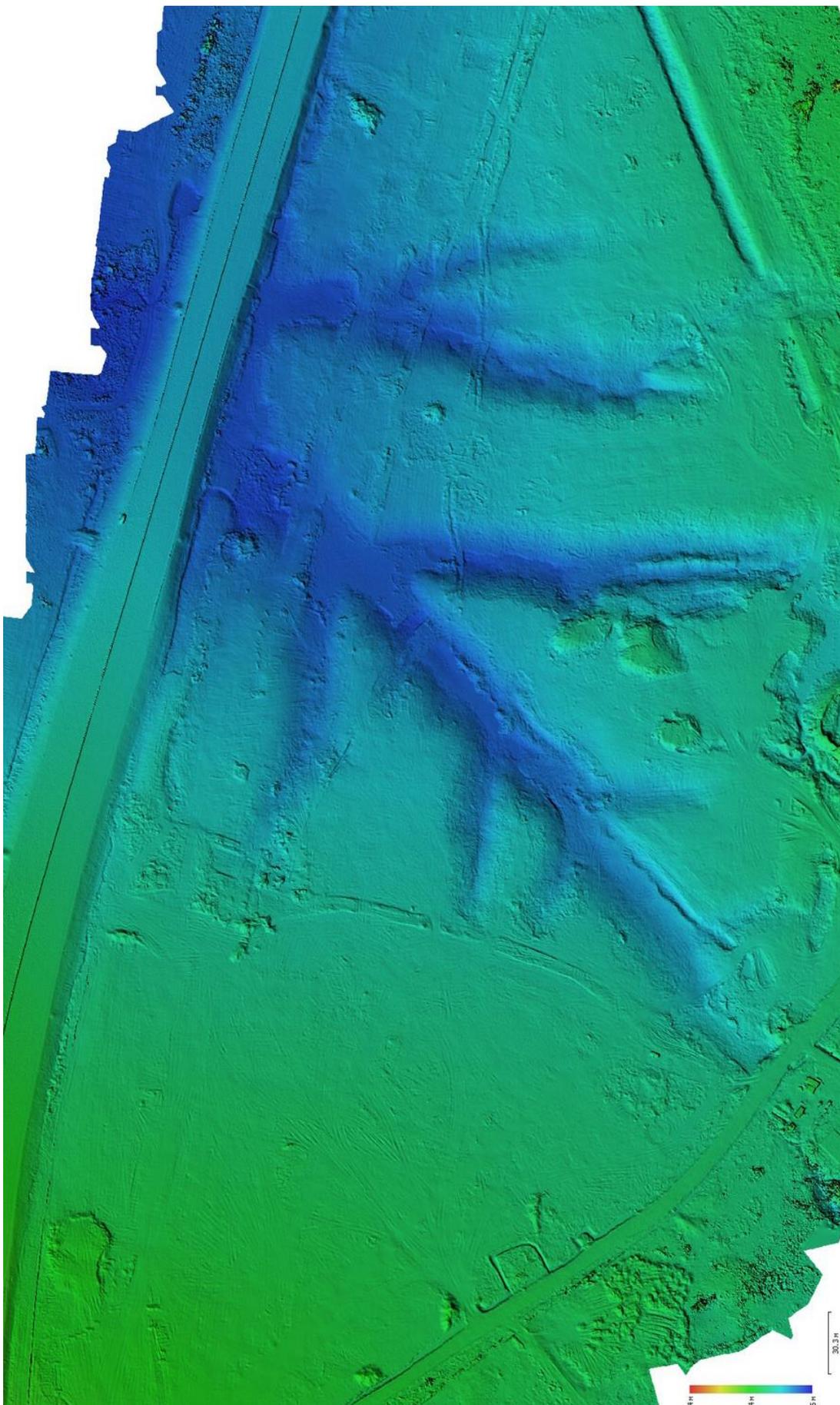


Рис. 2. Пример цифровой модели рельефа

Для детального изучения применения современных технологий в процессе подготовки картографической основы рассмотрим перспективы внедрения в этот процесс нейронных сетей, что позволит оптимизировать создание цифровых моделей местностей и рельефа.

Нейросетевой алгоритм обработки пространственных данных о рельефе местности. Геоинформационные системы являются основой для оперирования большими объемами пространственно-привязанных данных как в области картографии, так и в других сферах деятельности. Несмотря на различия в назначении геоинформационных систем принципы их построения в целом совпадают.

Нейронные сети хорошо зарекомендовали себя как универсальные аппроксиматоры сложных многомерных функций для больших объемов данных. Поэтому целесообразно провести работу по исследованию возможностей применения нейронных сетей в ГИС, в частности, в процессе создания цифровых моделей местности и рельефа. Нейросеть включает в себя отдельные вычислительные модули, подобно человеческому мозгу [3]. Они состоят из множества искусственных нейронов, которые взаимодействуют между собой для обработки и анализа данных.

Перспектива внедрения нейросетей в процесс создания цифровых моделей местности и рельефа заключается в потенциальной возможности использования их для повышения точности и эффективности моделирования. Нейросети могут быть применены в различных аспектах создания цифровых моделей местности и рельефа, включая обработку и анализ больших объемов геопро пространственных данных, классификацию объектов, сегментацию изображений и генерацию детализированных моделей.

Использование нейросетей может дать более точные результаты и сократить время и ресурсы, необходимые для обработки и анализа данных. Нейросети обладают способностью обучаться на больших объемах данных и выявлять сложные паттерны и зависимости, что может помочь повысить качество и точность моделирования. Нейронные сети обладают рядом преимуществ в сравнении с традиционными алгоритмами решения тех или иных задач. В таблице 1 представлены основные преимущества нейронных сетей [3].

Таблица 1

Основные преимущества нейронных сетей

№	Преимущество	Характеристика
1	Обучаемость	Благодаря системе обучения нейросеть адаптируется к различным изменениям, каждый раз применяя новые данные для поиска решения поставленной задачи
2	Универсальность	Нейросети являются гибким и мощным инструментом, способным решить широкий круг задач анализа и обработки данных
3	Быстродействие	В отличие от традиционных алгоритмов работы программного обеспечения, в котором команды выполняются последовательно, в нейросети входные данные преобразуются в распределенную сеть параллельных вычислений и подаются на выход

4	Простота применения	Количество знаний, которые потребуются для успешного использования нейросети, уступает тому, которое необходимо было бы получить для работы с традиционными алгоритмами
5	Отказоустойчивость	Производительность нейронной сети при неблагоприятных условиях может упасть, но весьма незначительно. Нейронные сети обладают также высокой устойчивостью к «шумам» во входных данных. Если по какой-либо причине для анализа были взяты лишние параметры, не имеющие отношения к решению поставленной задачи, нейронная сеть их отфильтрует

Однако наряду с явными преимуществами у нейросетей имеются и недостатки (таблица 2) [4].

Таблица 2

Недостатки нейронных сетей

	Недостаток	Характеристика
1	Проблема переподготовки	Модули «запоминают» ответы вместо отображения шаблонов во входных данных
2	Черный ящик	Они по сути являются черными ящиками. Другими словами, в дополнение к результату вы не можете получить информацию от модулей, даже статистику. Это очень затрудняет понимание того, как модули принимают решения
3	Забывчивость	Искусственные нейронные сети отличаются от своих биологических собратьев своей неспособностью «запоминать» прошлые навыки при изучении новой задачи

Несмотря на описанные выше недостатки, нейронная сеть остается мощным инструментом, который при правильном применении может решать проблемы, которые не могут быть решены с помощью классических программных средств.

В создании цифровых моделей местности и рельефа применяется глубокое обучение для автоматической классификации объектов на изображениях, таких как здания, дороги, растительность и т. д. Это позволяет сократить ручную работу по классификации и повысить точность и скорость обработки данных. Процесс обучения нейросети — это этап, на котором модель настраивается для выполнения конкретной задачи на основе предоставленных данных. На рис. 3 показана последовательность процесса обучения нейронной сети.

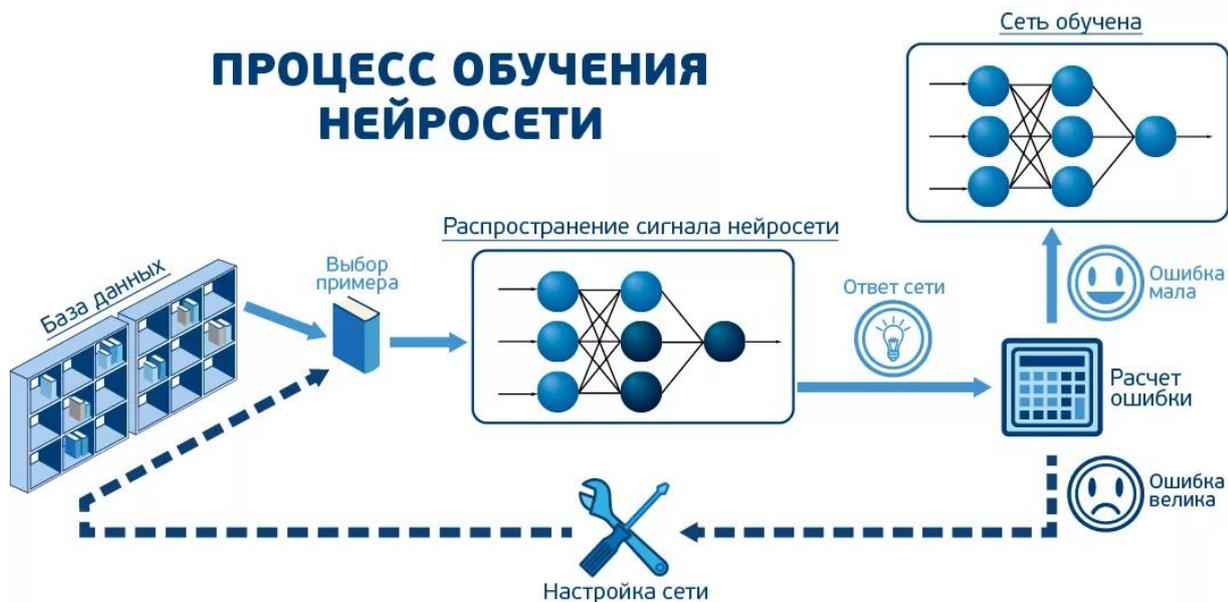


Рис. 3. Процесс обучения нейросети

Процесс обучения при разработке цифровых моделей местности и рельефа состоит из следующих этапов:

1. Подготовка данных — сбор и предобработка данных о местности, включая информацию о рельефе, высотах, изображениях и других параметрах, необходимых для создания цифровой модели. Данные разделяются на обучающую и тестовую выборки, а также масштабируются или нормализуются для обеспечения стабильности обучения.

2. Определение архитектуры нейросети — на этом этапе выбирается архитектура нейросети, включая типы слоев, их количество и параметры. Возможны различные типы слоев, такие как сверточные, рекуррентные или полносвязные, в зависимости от характеристик данных и требуемой задачи.

3. Инициализация весов — веса нейронов и связей в нейросети инициализируются случайными значениями. Это начальное состояние модели перед обучением. Инициализация весов может влиять на процесс обучения и требует осторожного подбора.

4. Прямое распространение (Forward propagation) — данные подаются на вход нейросети, и каждый нейрон вычисляет свой выход на основе активационной функции и весов связей. Процесс выполняется для всех слоев нейросети, позволяя получить предсказания модели.

5. Расчет ошибок (Loss calculation) — измеряется разница между предсказанными значениями нейросети и истинными значениями цифровой модели. Цель состоит в минимизации ошибок для достижения более точных предсказаний модели.

6. Обратное распространение (Backward propagation) — на этом этапе градиенты функции потерь распространяются назад по сети, чтобы обновить веса нейронов. С использованием алгоритма оптимизации, такого как стохастический градиентный спуск, корректируются веса, чтобы минимизировать функцию потерь и повысить точность модели.

7. Обновление весов — веса нейронов обновляются в соответствии с градиентами, рассчитанными на предыдущем шаге обратного распространения. Этот процесс повторяется несколько раз, пока модель не достигнет достаточной точности и сходимости.

8. Оценка модели — в конце каждой эпохи или после завершения обучения модель оценивается на тестовой выборке для определения ее производительности и способности обобщаться на новые данные. Оценка модели позволяет убедиться в точности и качестве результатов.

9. Повторение и тонкая настройка — в зависимости от результатов оценки модели может потребоваться повторное обучение с изменением параметров нейросети или обучающего процесса для достижения лучших результатов и оптимальной производительности модели.

В целях исследования перспектив использования нейросетей в процессе разработки цифровых моделей местности и рельефа рассматривается вопрос внедрения нейросети в программное обеспечение Agisoft Metashape PRO. Процедура интеграции нейросети в Agisoft Metashape PRO представлена на рис. 4 [4].

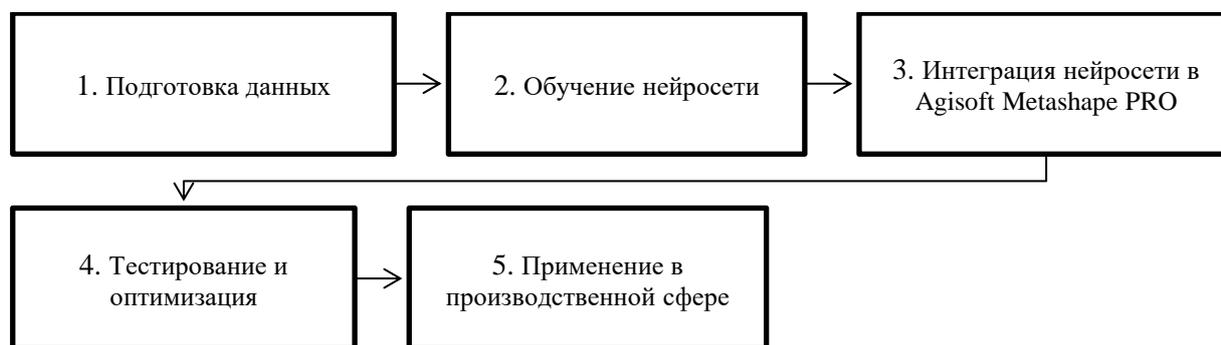


Рис. 4. Процесс интеграции нейросети в Agisoft Metashape PRO

Для начала требуется произвести сбор и подготовку данных, необходимых для создания цифровых моделей в Agisoft Metashape. Это могут быть фотографии, облака точек или другие данные, которые будут использоваться в процессе обработки.

Далее необходимо проделать работу по выбору и использованию фреймворка машинного обучения, например TensorFlow или PyTorch, для обучения нейросети на предоставленных данных. Можно разработать модель, принимающую входные данные из Agisoft Metashape, и предсказывать соответствующие атрибуты моделей, такие как текстуры или контуры.

После машинного обучения необходимо разработать специальный плагин, или расширение, для Agisoft Metashape, которое позволит интегрировать обученную нейросеть в рабочий процесс программного комплекса. Это может включать разработку пользовательского интерфейса или интеграцию существующих функций Metashape с функциональностью нейросети [4]. После интеграции нейросети в Agisoft Metashape следует выполнить тестирование и оценить работу модели на различных типах данных и задачах создания цифровых моделей. Если необходимо, произвести оптимизацию модели или процесса интеграции для достижения наилучших результатов.

По результатам успешного тестирования и оптимизации нейросеть может быть использована в производственной среде для создания цифровых моделей с применением Agisoft Metashape. Необходимо учесть, что интеграция нейросети может потребовать дополнительных ресурсов, таких как вычислительная мощность или специализированное оборудование. Результатом произведенных работ является обученная нейронная сеть, которая сохраняется в

файле и используется для последующей обработки данных аэрофотосъемки и создания цифровых моделей местности и рельефа.

Преимущества внедрения нейросети в процесс создания цифровых моделей:

1. Увеличение скорости обработки данных — нейросети способны обрабатывать большие объемы данных значительно быстрее, чем традиционные методы ручной обработки. Это позволяет сократить время, затрачиваемое на создание цифровых моделей.

2. Повышение точности результатов — обученная нейросеть способна достичь высокой точности при определении и классификации объектов на изображениях. Это помогает создавать более точные и детализированные ЦММ.

3. Автоматизация процесса — использование нейронной сети позволяет автоматизировать процесс определения и классификации объектов на основе аэрофотографий. Это упрощает и ускоряет процесс создания ЦММ.

4. Снижение трудозатрат — внедрение нейросети позволяет снизить необходимость вручную обрабатывать и классифицировать каждое изображение или объект на фотографии.

5. Расширение возможностей Metashape — внедрение нейросети расширяет функциональность программного комплекса Agisoft Metashape, позволяя выполнять более сложные задачи обработки данных и создания цифровых моделей местности и рельефа.

Заключение. Обобщая результаты данного исследования, можно сделать вывод, что применение современных программно-расчетных комплексов наряду с беспилотными летательными аппаратами (например DJI Matrice 300 RTK и Supercam S350), а также интеграция нейросетей в программное обеспечение Agisoft Metashape PRO представляют собой перспективные технологические решения, которые способны повысить точность и скорость работы, а также автоматизировать процесс разработки цифровых моделей местности и рельефа. Новые технологии предоставляют более точные и быстро получаемые данные, позволяющие оптимизировать систему управления территориями, более оперативно принимать решения и планировать развитие.

Библиографический список

1. Черняков Г.В., Романкевич А.П. *Создание цифровой модели рельефа по материалам аэрофотосъемки беспилотным летательным аппаратом*. В: Сборник статей Международной научно-практической конференции «Землеустройство, геодезия и кадастр: прошлое — настоящее — будущее». Горки: Белорусская государственная сельскохозяйственная академия; 2020. С. 232–237.

2. Мусихин В.В., Богданец Е.С., Тютюкова В.А. Опыт использования беспилотного летательного аппарата для кадастровых целей. *Master's Journal*. 2021;2:50–57.

3. Егорова В.П., Олиферова О.С., Горькавый М.А. Особенности нейросетевых решений, достоинства и недостатки, перспективы применения. В: Материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований». Комсомольск-на-Амуре; 2020. С. 218–221.

4. Руководство пользователя Agisoft Metashape. Metashape. URL: <https://metashape.ru/docs/proccess-obrabotki-dannyh-s-multispektralnoj-kamery-geoscan-pollux-v-agisoft-metashape-professional> (дата обращения: 05.07.2023).

Об авторах:

Тихонова Ксения Владимировна, доцент кафедры «Экономика природопользования и кадастра» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат экономических наук, доцент, ktihonova@donstu.ru

Чепелев Павел Дмитриевич, магистрант кафедры «Экономика природопользования и кадастра» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), p_chepelev@mail.ru

Тихонов Дмитрий Андреевич, магистрант факультета «Информатика и вычислительная техника» Донского государственного технического университета (344003, РФ, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), dima.tihonov.201522@mail.ru

Authors:

Tikhonova K. V., Associate Professor, the Department of "Environmental Economics and Cadastre", Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, 344003, RF), Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, ktihonova@donstu.ru

Chepelev Pavel, Master Degree Student, the Department of «Environmental Economics and Cadaster» Don State Technical University, (1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344003, RF), p_chepelev@mail.ru

Tikhonov Dmitry, Student of the Department «Computer Science and Computing» Don State Technical University (1, Gagarin sq., Rostov-on-Don, RF, 344003), dima.tihonov.201522@mail.ru