

УТВЕРЖДАЮ
Первый проректор
федерального государственного
автономного образовательного
учреждения высшего образования
«Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Д.Ф.М. н., профессор



Д. А. Гаурский

«18» *января* 2024 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию

Каримова Сардора Илхом угли

«Методы и средства обработки спутниковых данных для мониторинга на примере территории Узбекистана», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности

2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей

Актуальность темы диссертации

Диссертация С.И. Каримова посвящена актуальным проблемам получения и обработки спутниковых данных для дистанционного мониторинга использования сельскохозяйственных земель и урбанистических территорий и вносит весомый вклад в область исследований, связанных с обработкой спутниковых изображений. В диссертации подчеркнута и обоснована необходимость детального анализа всей совокупности методов обработки данных, которые могут быть использованы при создании программного обеспечения систем, предназначенных для дистанционного мониторинга с использованием спутниковых данных. В частности, работа сфокусирована на тщательном ана-

лизе различных методов предварительной обработки, сегментации и распознавания изображений, учитывающих специфику обрабатываемых спутниковых данных.

Новизна полученных результатов и выводов

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

1. На основе подходов глубокого обучения предложен метод атмосферной коррекции спутниковых изображений. Этот метод позволяет проводить унифицированную атмосферную коррекцию снимков, получаемых с разных типов спутников.

2. Предложены методы оценки состояния сельскохозяйственных зон и классификации посевов с использованием алгоритмов определения вегетационных индексов и методов глубокого обучения. Названные методы позволяют получать объективную информацию о распределении и состоянии сельскохозяйственных угодий, выращиваемых культурах, а также распределении городских земель.

3. Предложен метод, основанный на модификации архитектуры нейронной сети глубокого обучения, который позволяет сегментировать и идентифицировать объекты на спутниковых изображениях территорий, включая городские и сельскохозяйственные районы. Этот метод позволил существенно снизить требования к вычислительным ресурсам, необходимым при решении названных задач сегментирования и идентификации.

Апробация работы и публикации

По результатам проведенных исследований опубликовано девять научных трудов, содержащих основные результаты диссертации. Имеется свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на научных семинарах кафедры компьютерного моделирования и многопроцессорных систем Санкт-Петербургского государственного университета, а также на восьми международных научных конференциях, список которых приведен в диссертации.

Обоснованность научных положений и выводов, сформулированных в диссертации

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложения. Общий объем работы – 142 страницы. Библиография включает 125 наименований.

Во **введении** обоснована актуальность проведенного исследования и кратко описаны предлагаемые методы обработки данных спутниковых наблюдений для обеспечения эффективного территориального мониторинга в сельском хозяйстве и городских районах. Названы существующие проблемы при решении таких задач. Обоснованы научная новизна и практическая ценность работы, а также сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** названы основные цели обработки спутниковых данных. Они включают создание карт площадей пахотных угодий, годовых посевов, карт для отслеживания состояния посевов, оценки урожайности, мониторинга использования городских земель и планирования размещения объектов. При этом проведен анализ доступных спутниковых данных и сформированы требования к функциональному составу набора алгоритмов обработки спутниковых данных, обеспечивающих достижения указанных целей.

Вторая глава посвящена анализу методов предварительной обработки и классификации данных дистанционного зондирования Земли. Достаточно подробно описаны методы атмосферной коррекции и сделан вывод о необходимости унификации результатов такой коррекции, которую можно достичь, применив нейронные сети. В этой главе описаны также алгоритмы вычисления различных вегетационных индексов, которые предложено использовать для классификации выращиваемых культур на землях сельскохозяйственного назначения. Далее проведен анализ методов классификации изображений и различных архитектур нейронных сетей, которые можно использовать для сегментации и распознавания изображений. В результате этого анализа предложено использовать конкретные архитектуры нейронных сетей, показавшие достаточно хорошие результаты по точности классификации. При этом подчерк-

нута необходимость модификации таких архитектур с целью снижения требований к вычислительным ресурсам, причем точность классификации и сегментации не должна уменьшаться.

В третьей главе представлены разработанные методы. С их использованием сначала определяют территории для проведения мониторинга. Затем применяют методы доступа к источникам открытых данных – агрегатору Google Earth Engine и платформе Sentinel Hub. В этой же главе описана разработанная архитектура нейронной для атмосферной коррекции на основе структуры кодер–декодер. Такой подход позволил унифицировать данные, получаемые с разных спутников, и избежать применения интерактивных программ, традиционно используемых для такой коррекции. Для обнаружения городских и сельскохозяйственных объектов, а также оценки их изменений предложена модификация архитектуры сети U-net. Эта модификация позволила существенно снизить требования к вычислительным ресурсам, необходимым для обработки данных. В этой же главе для классификации сельскохозяйственных культур предложена модификация архитектуры известной сети VGG. Эта модификация заключается в замене во всех сверточных слоях обычных сверток на глубинные свертки. При этом входными данными для такой сети служат вегетационные индексы, рассчитанные по мультиспектральным изображениям наблюдаемых территорий. Такой подход позволил существенно снизить вычислительные затраты и получить данные для объективного контроля использования сельскохозяйственных земель. В главе 3 также описаны метрики качества, использованные для оценки эффективности моделей классификации и сегментации.

В четвертой главе описаны эксперименты по применению разработанных средств обработки спутниковых изображений применительно к территории Узбекистана. Достаточно подробно охарактеризованы датасеты, использованные для обучения всех предложенных нейронных сетей. Следует отметить, что датасет для сети атмосферной коррекции был сформирован автором самостоятельно, а другие использованные датасеты были дополнены спутниковыми изображениями исследуемых территорий. Спутниковые мультиспектральные изображения являются изображениями высокого разрешения и

напрямую не могут быть обработаны предлагаемыми нейронными сетями. Поэтому в главе 4 рассмотрены также алгоритмы как предварительной обработки изображений, так и окончательной обработки результатов сегментации и классификации. Эти алгоритмы позволяют сетям обрабатывать исходное изображение по частям и формировать итоговый результат из обработанных частей. Диссертант привел результаты обучения и тестирования предлагаемых нейронных сетей, которые показали повышение точности результатов обработки спутниковых снимков по сравнению с существующими методами.

В заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы и подчеркнуто, что предложенные методы обработки позволили снизить требования к вычислительным ресурсам как по памяти, так и по аппаратной поддержке вычислений.

Научные положения и выводы диссертации **обоснованы и подтверждены** корректным применением современных методов математического и компьютерного моделирования, машинного обучения, согласованностью теоретических результатов с экспериментальными данными, верификацией разработанных методов на реальных данных.

Практическая значимость проведенных исследований заключается в том, что методы обработки спутниковых изображений, предложенные и реализованные диссертантом, позволяют повысить достоверность и надежность результатов мониторинга на основе спутниковых данных, а также снизить требования к вычислительным ресурсам системы мониторинга. Разработанный автором метод предварительной обработки данных дистанционного зондирования Земли позволил произвести атмосферную коррекцию и унифицировать изображения, получаемые от спутников разных типов. Созданные методы выявления сельскохозяйственных культур были использованы для получения данных о пространственном размещении посевов озимых и подсолнечника, а также площадей чистого пара в Ферганской области. В результате проведенных исследований было создано программное обеспечение, которое является сегодня важной частью разрабатываемой в Узбекистане национальной системы мониторинга земель сельскохозяйственного назначения и урбанистических территорий.

Представленная диссертация соответствует Паспорту научной специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей по следующим пунктам:

1. Разработка методов и программных средств обработки спутниковых изображений для обеспечения территориального мониторинга сельскохозяйственных и городских регионов;

2. Разработка и исследование архитектур глубокого обучения для обработки спутниковых данных;

Результаты диссертации могут быть использованы в различных научных, производственных и государственных организациях, в частности,

- для картирования земель сельскохозяйственного назначения и производимой на ней продукции на основе спутниковых наблюдений в рамках разрабатываемой в Узбекистане системы мониторинга сельского хозяйства;

- при планировании жилищного строительства и распределения сельскохозяйственных земель

Замечания по диссертационной работе

При всей значимости и оригинальности работы имеются замечания, которые, с нашей точки зрения, могут быть полезны для ее дальнейшего развития и совершенствования:

1. Не описано взаимодействие предложенных и реализованных методов обработки спутниковых данных – представлена только общая структура системы мониторинга региона земной поверхности (рис. 3.1).

2. Рассмотрено достаточное большое количество вегетационных индексов, вычисляемых по мультиспектральным изображениям, однако нет обоснования выбора вегетационных индексов EVI и ENDVI в качестве входных данных для обучения и применения предлагаемой нейронной сети для распознавания сельскохозяйственных культур. Можно предположить, что автор провел эксперименты и с другими типами вегетационных индексов, но не привел результаты экспериментов с ними в тексте работы.

3. Для распознавания сельскохозяйственных культур автор использовал двухступенчатую схему – сначала с помощью вегетационных индексов определяются области растительности, а затем для этих областей проводится

собственно классификация типов растущих культур. Однако не описана процедура подготовки данных для классификации.

4. Приведены результаты работы предложенной нейронной сети для атмосферной коррекции данных, полученных только со спутников Sentinel. Результаты обработки доступных данных, полученных от других спутников, не приведены, хотя в работе упоминается, что такая обработка производилась.

5. В тексте диссертации встречаются отдельные стилистические и орфографические погрешности.

Высказанные замечания не снижают значимости диссертационной работы, но могут быть полезны при ее дальнейшей доработке, а также для будущих исследований и приложений в данной области.

Выводы

Диссертационная работа Каримова Сардора Илхом угли «Методы и средства обработки спутниковых данных для мониторинга на примере территории Узбекистана» является законченным научным исследованием и выполнена на высоком научном уровне. Автор получил новые результаты, имеющие теоретическую и практическую ценность. Результаты, полученные диссертантом, достоверны. Работа достаточно аккуратно оформлена и написана с грамотным использованием общепринятых научных терминов.

По теме диссертационной работы опубликовано 9 научных статей, 1 – в рецензируемом издании из Перечня ВАК РФ, 5 – в изданиях, проиндексированных Scopus/WoS, имеется Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ.

Диссертационная работа Каримова Сардора Илхом угли является завершенной научно-исследовательской работой на актуальную тему.

Выводы и заключения обоснованы. Диссертационная работа соответствует требованиям пунктов 9-10 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает присуждения искомой учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.5. Математическое и программное обеспечение вычислительных систем, комплексов и компьютерных сетей.

Отзыв подготовлен доктором физико-математических наук, профессором Института информационных технологий и интеллектуальных систем (ИТИС) Казанского (Приволжского) федерального университета, Елизаровым Александром Михайловичем.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании Ученого совета Института ИТИС 28 ноября 2024 года, протокол №4.

Сведения о ведущей организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»

Адрес: 420008, Россия, Республика Татарстан, г. Казань, ул. Кремлевская, д.18, корп. 1;

Тел.: +7 (843) 233-71-09 – справочная; +7 (843) 233-74-00 – приемная ректора;

Электронная почта: public.mail@kpfu.ru;

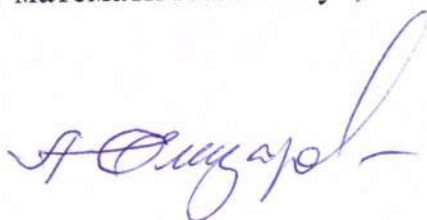
Сайт: <https://kpfu.ru/>.

Директор Института ИТИС,
канд. техн. наук, доцент



Абрамский Михаил Михайлович

Профессор Института ИТИС
доктор физико-математических наук,
профессор



Елизаров Александр Михайлович