

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

Работа выполнена в СКПБ «Оптико-электронные методы в землеустройстве и кадастрах»

СОГЛАСОВАНО

Руководитель ОНИПКРС

 Е.М. Димитриади

(подпись)

« 02 » 06 20 26 г.

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по научной работе

 А.В. Космынин

(подпись)

« 05 » 06 20 26 г.

Декан ФКС

 Н.В. Гринкруг

(подпись)

« 01 » 06 20 26 г.

«Применение нейронных сетей для обработки данных дистанционного зондирования Земли»

Комплект конструкторской /проектной документации

Руководитель СКПБ


(подпись, дата)

В.И. Зайков

Руководитель проекта


(подпись, дата)

А.О. Полтавцева

Комсомольск-на-Амуре 2026

Карточка проекта

Название	Применение нейронных сетей для обработки данных дистанционного зондирования Земли
Тип проекта	техническое творчество (инициативный)
Исполнители	Рождаев Илья Александрович ЗТМО-1 <i>Рож</i>
Срок реализации	Начало выполнения - февраль 2026 г. Окончание выполнения - май 2026 г.

Использованные материалы и компоненты

Наименование	Количество, шт.
программный пакет QGIS	1

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ЗАДАНИЕ
на разработку

Название проекта: Применение нейронных сетей для обработки данных дистанционного зондирования Земли

Назначение: Целью настоящего проекта является демонстрация возможностей применения нейросетевых алгоритмов для автоматизированного дешифрирования мультиспектральных космических снимков на примере обработки данных спутника Landsat-7 с использованием инструментов геоинформационной системы QGIS. В рамках проекта решается задача преобразования растровых данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в векторные карты землепользования с последующей оценкой точности полученных результатов. Актуальность темы обусловлена возрастающим потоком спутниковых данных и необходимостью оперативного получения информации о состоянии земной поверхности для решения широкого круга задач: от мониторинга сельскохозяйственных угодий и лесного хозяйства до градостроительного планирования и экологического контроля.

Область использования: Разрабатываемая технологическая схема классификации мультиспектральных космических снимков применяется в сельском, лесном и водном хозяйстве для мониторинга состояния растительности, выявления вырубок, гарей и загрязнений. Она также используется в градостроительстве, земельном кадастре, экологическом мониторинге и научных исследованиях для картографирования типов земного покрова и динамики ландшафтов. Кроме того, методика внедряется в образовательный процесс при изучении дистанционного зондирования Земли и геоинформатики.

Функциональное описание проекта: Проект обеспечивает загрузку и преобработку мультиспектральных снимков Landsat-7, создание эталонных участков (ROI) и расчёт спектральных сигнатур для каждого класса земного покрова. Алгоритм минимального расстояния (Minimum Distance) выполняет классификацию всего снимка, после чего проводится оценка точности по независимым контрольным участкам (матрица ошибок, коэффициент Каппа). Завершающими функциями являются векторизация классифицированного растра и фильтрация шумовых полигонов.

Техническое описание устройства: В состав изделия входят модуль ввода данных (загрузка каналов Landsat-7, формирование набора каналов), база эталонных сигнатур (файл .scr с полигонами ROI и рассчитанными спектральными сигнатурами) и вычислительное ядро, реализующее алгоритм минимального расстояния. Дополнительно присутствуют модуль оценки точности (расчёт матрицы ошибок и метрик), модуль постобработки и векторизации (преобразование растра в векторный слой, удаление малых полигонов) и модуль визуализации и экспорта результатов.

Требования: Аппаратные требования включают процессор не менее 2 ядер с частотой 2 ГГц, 8 ГБ оперативной памяти и 10 ГБ свободного дискового пространства. Программные требования: операционная система Windows, macOS или Linux, QGIS версии 3.34 LTS и выше, а также установленный плагин Semi-Automatic Classification Plugin (SCP) версии 8.0+. Исходные данные должны представлять собой каналы 1–5 и 7 снимка Landsat-7 в формате GeoTIFF с долей облачности не более 10%, эталонные и контрольные векторные слои — содержать атрибуты class_id и class_name.

План работ:

Наименование работ	Срок
Информационное исследование и теоретическое обоснование проекта	25.02.2026
Структурный анализ программного комплекса QGIS	09.03.2026
Разработка технологии формирования векторного	30.03.2026

слож	
Оформление отчета по выполненному проекту	17.05.2026

Перечень графического материала:

Руководитель проекта



(подпись, дата)


А.О. Полтавцева

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

ПАСПОРТ

«Применение нейронных сетей для обработки данных дистанционного
зондирования Земли»

Руководитель проекта



(подпись, дата)

А.О. Полтавцева

Комсомольск-на-Амуре 2026

Содержание

1	Общие положения	9
1.1	Наименование изделия	9
1.2	Наименования документов, на основании которых ведется проектирование изделия.....	9
1.3	Перечень организаций, участвующих в разработке изделия	9
1.4	Сведения об использованных при проектировании нормативно-технических документах	10
2	Назначение и принцип действия	11
2.1	Назначение изделия	11
2.2	Области использования изделия	11
2.3	Принцип действия изделия	12
3	Описание используемых данных и программного обеспечения Ошибка!	
	Закладка не определена.	
3.1	Исходные данные: снимок Landsat-7	11
3.2	Программное обеспечение: QGIS и плагин SCP	12
4	Инструкция по выполнению работы..... Ошибка! Закладка не определена.	
4.1	Подготовка исходных данных	Ошибка! Закладка не определена.
4.2	Настройка плагина Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)	Ошибка! Закладка не определена.
4.3	Создание эталонных участков (ROI)	Ошибка! Закладка не определена.
4.4	Классификация снимка (алгоритм Minimum Distance).....	Ошибка! Закладка не определена.
4.5	Оценка точности (Accuracy Assessment)	Ошибка! Закладка не определена.
4.6	Векторизация результата.....	21
5	Результаты и их анализ.....	23
5.1	Результаты классификации и визуальный анализ	23
5.2	Количественная оценка точности классификации	24

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		8

Общие положения

Настоящий паспорт является документом, предназначенным для ознакомления с основными техническими характеристиками, устройством, правилами установки и эксплуатации проекта.

Паспорт входит в комплект поставки изделия. Прежде, чем пользоваться изделием, внимательно изучите правила обращения и порядок работы с ним. В связи с постоянной работой по усовершенствованию изделия, повышающей его надежность и улучшающей условия эксплуатации, в конструкцию могут быть внесены изменения, не отраженные в данном издании.

1.1 Наименование изделия

Полное наименование проекта – «Применение нейронных сетей для обработки данных дистанционного зондирования Земли».

1.2 Наименования документов, на основании которых ведется проектирование изделия

Проектирование «Применение нейронных сетей для обработки данных дистанционного зондирования Земли» осуществляется на основании требований и положений следующих документов:

- задание на разработку.

1.3 Перечень организаций, участвующих в разработке изделия

Заказчиком проекта «Применение нейронных сетей для обработки данных дистанционного зондирования Земли» является Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Комсомольский-на-Амуре государственный университет» (далее заказчик), находящийся по адресу: 681013, Хабаровский край, г. Комсомольск-на-Амуре, Ленина пр-кт., д. 17.

Исполнителями проекта «Применение нейронных сетей для обработки данных дистанционного зондирования Земли» является Конструктор студенческого конструкторского/проектного бюро «Оптико-электронные методы в землеустройстве и кадастрах» (далее СКПБ), студент группы 3ТМо-1, Рождаев Илья Александрович.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		9

1.4 Сведения об использованных при проектировании нормативно-технических документах

При проектировании использованы следующие нормативно-технические документы:

ГОСТ 2.001-2013. Единая система конструкторской документации. Общие положения.

ГОСТ 2.102-2013. Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.

ГОСТ 2.105-95. Единая система конструкторской документации. Общие требования к текстовым документам.

ГОСТ 2.610-2006. Единая система конструкторской документации. Правила выполнения эксплуатационных документов.

ГОСТ 2.004-88. Единая система конструкторской документации. Общие требования к выполнению конструкторских технологических документов на печатающих и графических устройствах вывода ЭВМ.

ГОСТ 2.051-2006. Единая система конструкторской документации. Электронные документы. Общие положения.

ГОСТ 2.052-2006. Единая система конструкторской документации. Электронная модель изделия. Общие положения.

ГОСТ 2.601-2013. Единая система конструкторской документации. Эксплуатационные документы.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		10

2 Назначение и принцип действия

2.1 Назначение изделия

Технологическая схема (рабочий процесс) классификации мультиспектральных космических снимков.

В состав изделия входят:

1. Мультиспектральное растровое изображение (снимок Landsat-7 ETM+, состоящий из 6 спектральных каналов, используемых в работе).
2. Цифровая модель рельефа (ЦМР) для геометрической и атмосферной коррекции (опционально).
3. Проект в среде QGIS (файл с расширением `.qgz`), содержащий все настройки визуализации.
4. Файл эталонных участков (`.shp` или `.gpkg`), содержащий векторные полигоны с атрибутом `class_id` для обучения модели.
5. Файл обученной модели классификатора (сохраняется в файле обучения SCP с расширением `.scp`).
6. Итоговые растровый и векторный слои классификации.

2.2 Области использования изделия

Разработанная технологическая схема и полученные карты могут применяться для решения следующих профессиональных задач:

- Сельское и лесное хозяйство: Мониторинг состояния посевов, выявление вырубок и гарей, оценка продуктивности лесных массивов .
- Градостроительство и земельный кадастр: Выявление незаконных построек, картографирование типов подстилающей поверхности (асфальт, газон, крыши) для оценки городской среды.
- Экологический мониторинг: Изучение динамики береговых линий, оценка загрязнения водоемов, мониторинг последствий стихийных бедствий .
- Научные исследования: Создание карт землепользования для экологических и географических моделей.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		11

2.3 Принцип действия изделия

Принцип работы основан на обучении искусственной нейронной сети. Сначала пользователь выделяет на снимке эталонные участки для каждого типа объектов (вода, лес, город и т.д.) . На их основе плагин SCP вычисляет числовые спектральные сигнатуры — уникальные «отпечатки» яркости пикселей во всех используемых спектральных каналах. В основе метода минимального расстояния (Minimum Distance) лежит расчет евклидова расстояния между спектральной сигнатурой каждого пикселя снимка и эталонными сигнатурами классов . Пиксель относится к тому классу, до сигнатуры которого расстояние минимально. Процесс осуществляется за счет сравнения значений более чем в 40 000 числовых векторов (пикселей), что реализуется исключительно программными средствами, а не электронными схемами.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		12

3 Описание используемых данных и программного обеспечения

3.1 Исходные данные: снимок Landsat-7

В качестве исходного материала используется мультиспектральный снимок, полученный спутником Landsat-7. Ключевые характеристики спутника и его основной прибор, сенсор Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), обеспечивают получение изображения высокого качества.

Сенсор ETM+ регистрирует отраженное и излученное электромагнитное излучение в восьми спектральных каналах. Основные характеристики каналов приведены в таблице ниже

Таблица 1 — Спектральные каналы сенсора ETM+ спутника Landsat-7

№ канала	Спектральный диапазон, мкм	Тип	Пространственное разрешение, м	Основное назначение
1	0.45–0.52	Сине-зеленый	30	Картирование прибрежных вод, различение почвы, растительности и антропогенных объектов
2	0.52–0.60	Зеленый	30	Оценка жизнеспособности растительности, классификация типов землепользования
3	0.63–0.69	Красный	30	Идентификация видов растений, поглощение хлорофилла
4	0.76–0.90	Ближний инфракрасный	30	Оценка биомассы, различение воды и суши, создание вегетационных индексов
5	1.55–1.75	Средний инфракрасный	30	Оценка влажности растительности и почв
6	10.40–12.50	Тепловой инфракрасный	60 (передискретизирован в 30)	Измерение температуры земной поверхности
7	2.08–2.35	Средний инфракрасный	30	Геологические исследования (различение горных пород), оценка влажности
8	0.52–0.90	Панхроматический	30	Повышение геометрического разрешения

Для целей классификации земного покрова наибольший интерес представляют каналы видимого и ближнего инфракрасного диапазонов (1–5 и 7), так как именно в них отражательные способности различных типов

поверхности (лес, вода, пашня, урбанизированные территории) имеют наиболее выраженные различия.

3.2 Программное обеспечение: QGIS и плагин SCP

Работа выполняется в среде свободной геоинформационной системы QGIS. Основным инструментом является модуль Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). SCP — это мощный плагин с открытым исходным кодом, предназначенный для предварительной обработки и классификации мультиспектральных растровых изображений .

SCP предоставляет следующие ключевые возможности, задействованные в проекте :

- Создание набора каналов (Band set): Объединение спектральных каналов для совместного анализа.
- Выделение эталонных участков (ROI): Создание полигонов, по которым алгоритмы машинного обучения будут определять спектральные характеристики каждого класса объектов (лес, вода, город и т.д.).
- Обучение классификатора: Запуск процесса обучения на основе выделенных эталонов.
- Применение алгоритма классификации: Обработка всего снимка для создания тематической карты.
- Пост-обработка и оценка точности: Векторизация результатов и расчет статистических метрик качества

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		14

4. Инструкция по выполнению работы

4.1 Подготовка исходных данных

Подготовка исходных данных является первым этапом выполнения работы. Исходным материалом служит архив со снимком Landsat-7 ETM+, загруженный с портала EarthExplorer USGS. Архив содержит отдельные файлы для каждого спектрального канала в формате GeoTIFF.

В среде QGIS 3.44.10 создаётся новый проект (меню «Проект» → «Создать»), который сохраняется в отдельной директории для обеспечения относительности путей к файлам. Затем выполняется загрузка растров: спектральные каналы 1, 2, 3, 4, 5 и 7 (тепловой канал 6 не используется) через меню «Слой» → «Добавить слой» → «Добавить растровый слой» (либо с помощью комбинации клавиш Ctrl+Shift+R). После загрузки производится визуальная оценка снимка на предмет наличия облачности, артефактов и достаточной контрастности изображения.

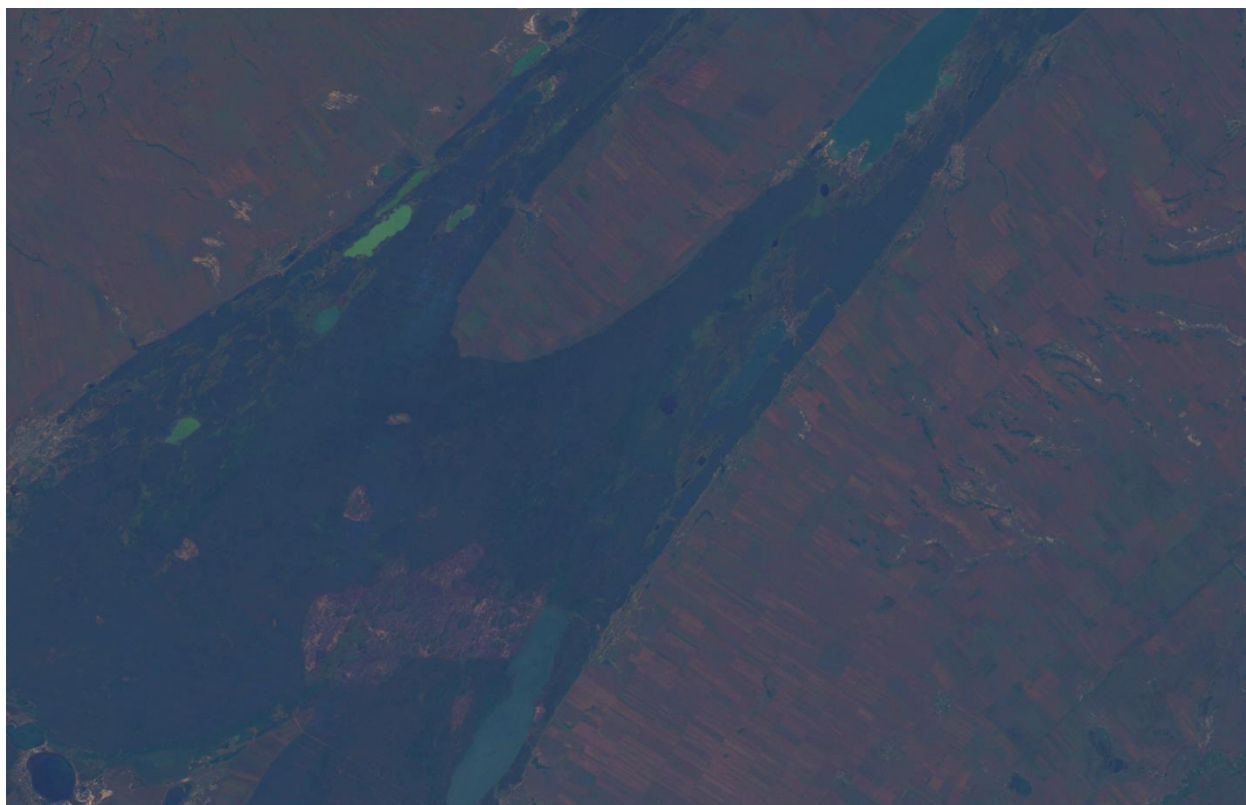


Рисунок 1. Снимок Landsat-7

Для создания эталонных участков создаётся новый векторный слой (меню «Слой» → «Создать слой» → «Новый слой Shapefile») с типом

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		15

геометрии «Полигон». Система координат слоя задаётся идентичной системе координат растровых данных (например, WGS 84 / UTM с соответствующим номером зоны). В атрибутивной таблице создаются два поля: `class_id` (целочисленный тип) для числовой идентификации класса и `class_name` (текстовый тип) для словесного описания. Каждому типу земного покрова присваивается уникальный идентификатор, например: 1 — Водная поверхность, 2 — Лес, 3 — Пашня.

4.2 Настройка плагина **Semi-Automatic Classification Plugin (SCP)**

Плагин **Semi-Automatic Classification Plugin** устанавливается через меню «Плагины» → «Управление и установка плагинов» (в поисковом запросе вводится «Semi-Automatic Classification Plugin»). После установки плагин активируется и становится доступным в меню «Плагины» → «SCP» → «SCP dock».

Ключевым действием на данном этапе является создание набора каналов (Band set). На вкладке Band set в левой панели отображаются все загруженные растры. Выделение нескольких каналов осуществляется с зажатой клавишей Ctrl. После выделения нажимается кнопка «+» (создать новый набор каналов), затем стрелка «>» для добавления выделенных каналов в набор. Созданному набору присваивается наименование (например, «Landsat7_full»). Завершается настройка нажатием кнопки Apply. Отсутствие созданного набора каналов приводит к недоступности функций классификации.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		16

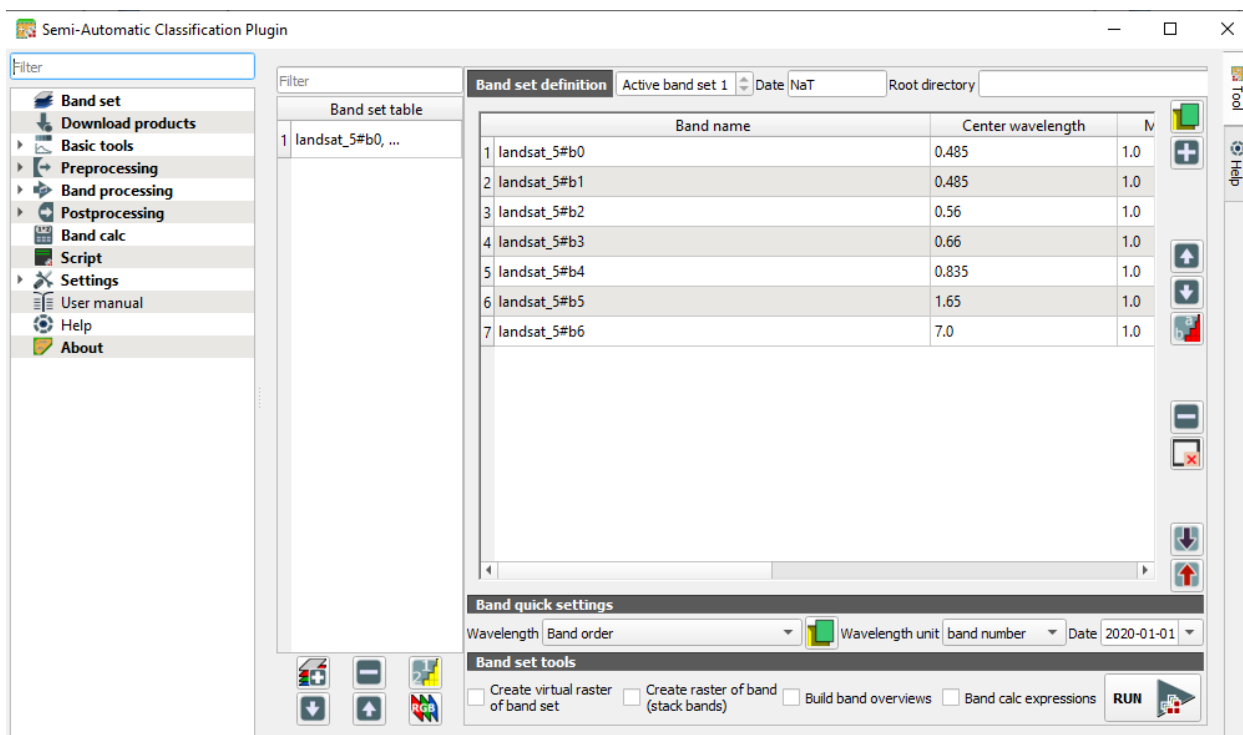


Рисунок 2. Набор каналов

4.3 Создание эталонных участков (ROI)

Данный этап является наиболее трудоёмким и критически важным для качества последующей классификации. На вкладке Training input нажимается кнопка New Training input, после чего создаётся и сохраняется файл с расширением .scr (например, training_data.scr), который служит хранилищем эталонных участков.

Создание полигонов Regions of Interest (ROI) выполняется с помощью кнопки New ROI polygon. В выпадающем списке Class ID выбирается номер класса, соответствующий типу объекта (лес, водная поверхность, пашня). Полигоны должны создаваться распределённо по всей площади снимка для учёта спектральной вариативности объектов (различия в освещённости, состоянии растительности, влажности почвы). При векторизации следует избегать включения в полигон граничных зон между разными типами земного покрова (опушек, береговых линий), где высока доля смешанных пикселей.

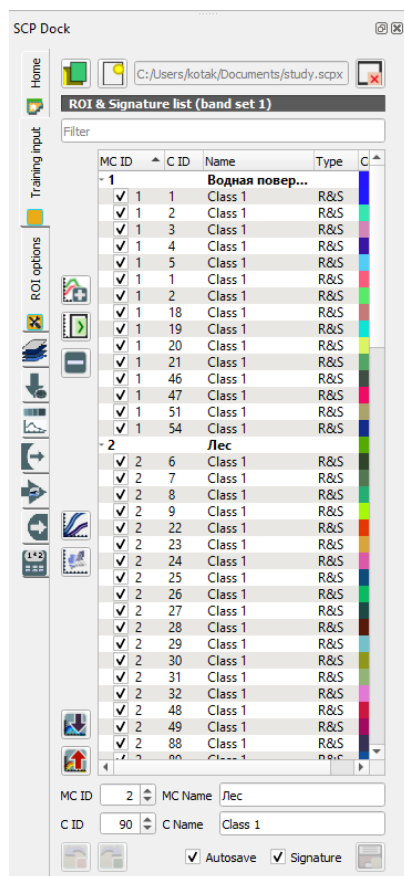


Рисунок 3. Создание эталонных участков

Рекомендуемое количество полигонов для каждого класса составляет не менее 20-50, а минимальный размер полигона — 50–100 пикселей, что обеспечивает статистическую устойчивость вычисляемых спектральных сигнатур.

После завершения отрисовки всех полигонов они выделяются (Ctrl+A) и нажимается кнопка Calculate spectral signature of highlighted ROIs. Плагин вычисляет спектральные сигнатуры — средние значения яркости пикселей для каждого класса во всех выбранных спектральных каналах. Полученные сигнатуры подлежат визуальному контролю: для различных классов они должны демонстрировать статистически значимые различия (например, для воды характерна низкая яркость в ближнем инфракрасном диапазоне, тогда как для растительности — высокая).

4.4 Классификация снимка (алгоритм Minimum Distance)

Классификация выполняется на вкладке Classification панели SCP. В разделе Algorithm выбирается метод Minimum Distance (минимального

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		18

расстояния). Выбор данного алгоритма обусловлен его вычислительной простотой, высоким быстродействием и применимостью для задач, в которых спектральные классы являются хорошо разделимыми. В поле Band set контролируется наличие созданного ранее набора каналов.

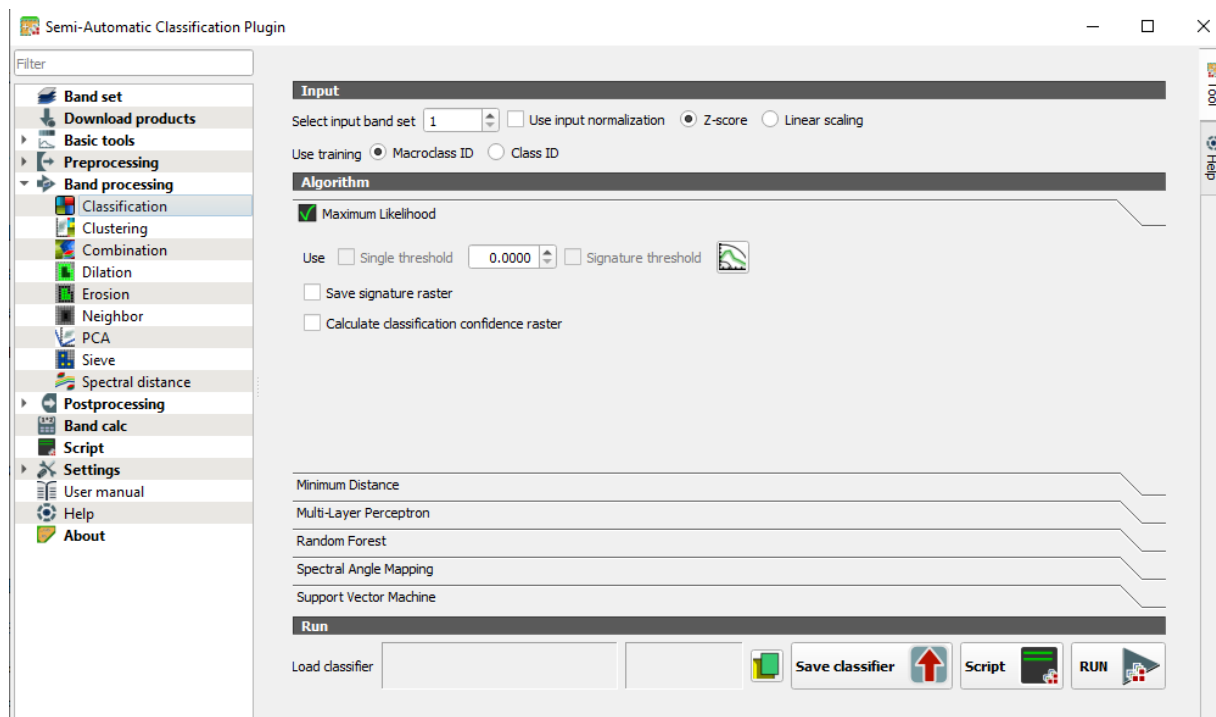


Рисунок 4. метод Minimum Distance

Параметр Use устанавливается в значение C ID (Class ID), что соответствует классификации по отдельным классам. Ключевым параметром является Threshold (порог). Значение 0 означает классификацию всех пикселей без исключения. Положительное значение порога (например, 0.1) позволяет оставлять неклассифицированными пиксели, евклидово расстояние от которых до всех эталонных сигнатур превышает установленный порог. Такие пиксели, как правило, соответствуют переходным или аномальным зонам (тени облаков, блики на водной поверхности).

В разделе Output указывается путь для сохранения выходного классифицированного растра (например, classification_result.tif). Запуск процесса классификации осуществляется нажатием кнопки Run. В результате

создаётся растровый слой, в котором значение каждого пикселя соответствует идентификатору класса, к которому он отнесён алгоритмом.

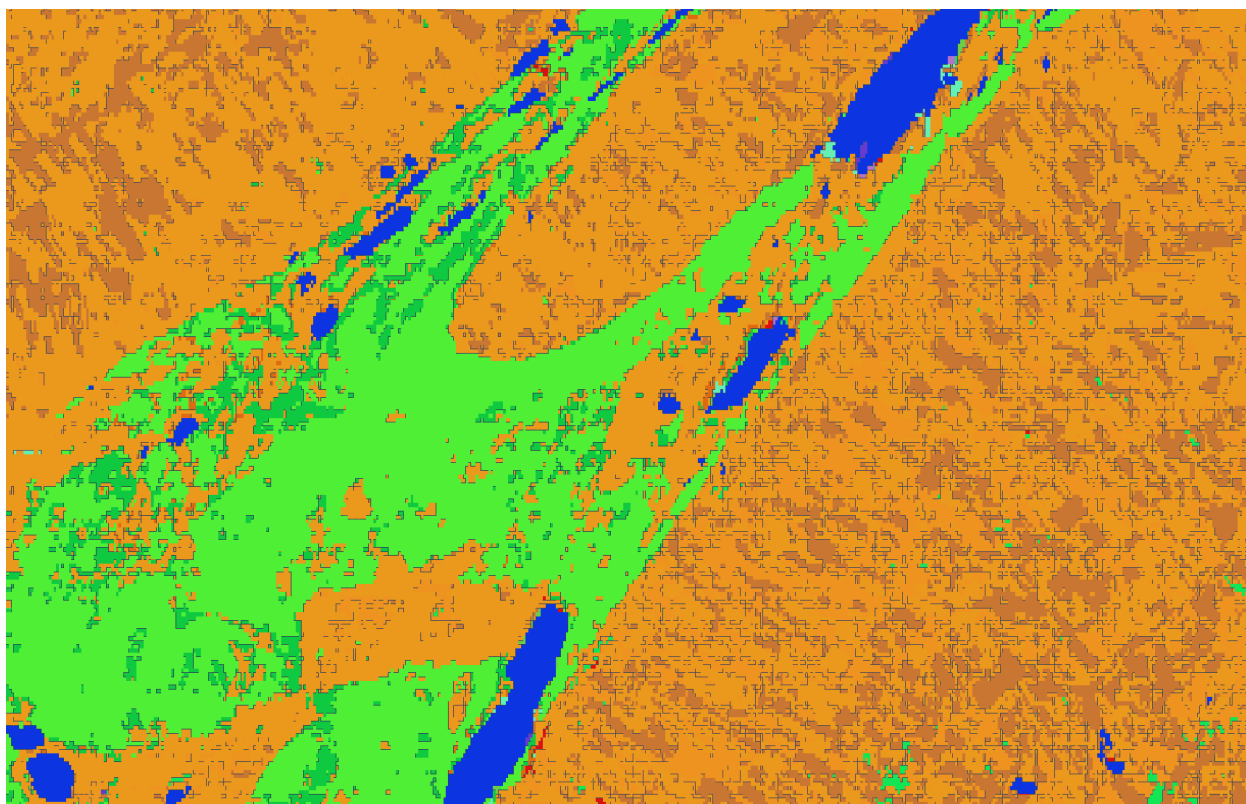


Рисунок 5. Результат

Визуальный анализ полученного растра позволяет выявить наличие «шума» — изолированных пикселей, классифицированных иначе, чем окружающие их однородные области. Наиболее распространённой причиной шума является недостаточная репрезентативность эталонных участков либо неоптимальное значение порога.

4.5 Оценка точности (Accuracy Assessment)

Для количественной оценки качества классификации используется матрица ошибок (error matrix или confusion matrix). Оценка точности требует наличия контрольных участков (Ground Truth), которые создаются отдельно от тренировочных и не участвуют в обучении классификатора. Контрольные участки создаются на той же территории, но на новых, ранее не использовавшихся полигонах (рекомендуемый объём контрольной выборки — не менее 20–30% от общего числа полигонов).

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		20

Оценка точности выполняется через меню SCP → Postprocessing → Accuracy (либо на вкладке Accuracy панели SCP). В поле Select the classification to assess выбирается выходной классифицированный растр. В поле Select the reference vector or raster указывается векторный слой с контрольными участками. В поле Vector field выбирается атрибут, содержащий номера классов (например, class_id). Запуск расчёта осуществляется нажатием кнопки Run; при этом система формирует матрицу ошибок и вычисляет метрики точности.

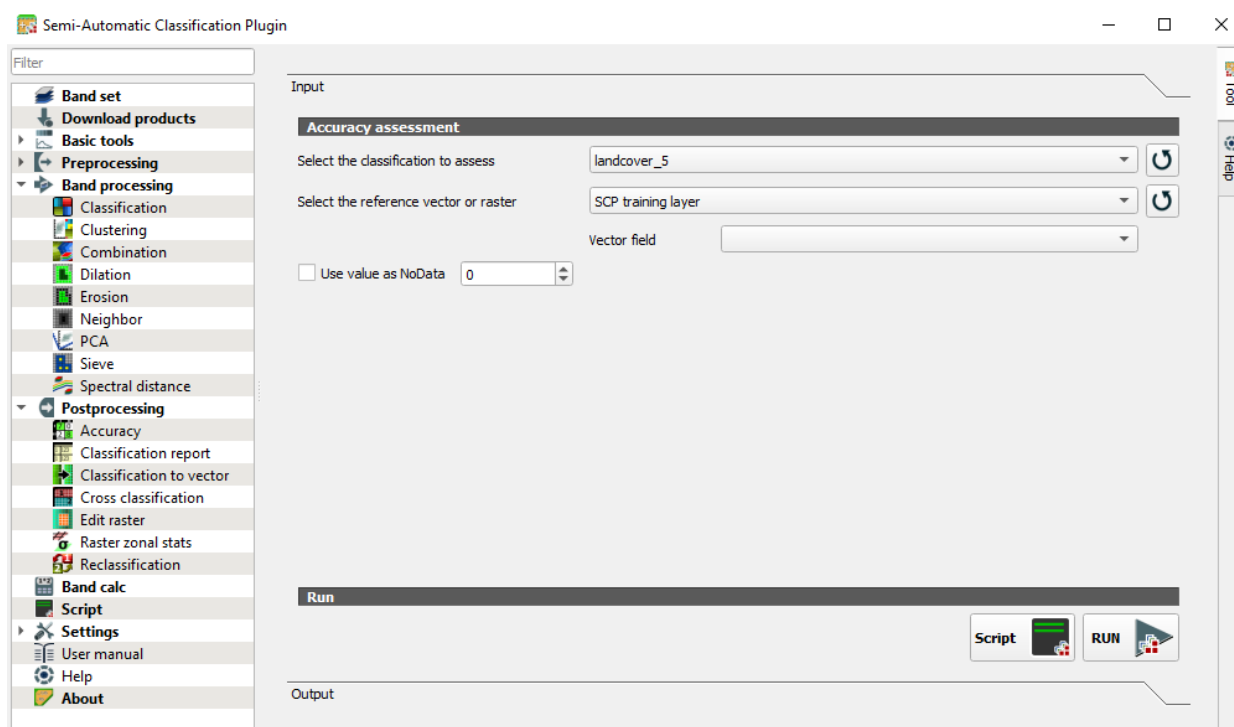


Рисунок 6. Оценка точности

Ключевыми метриками являются:

- Общая точность (Overall Accuracy) — процент правильно классифицированных пикселей от общего числа пикселей контрольной выборки.
- Коэффициент Каппа (Kappa Coefficient) — статистическая мера согласия, учитывающая вероятность случайного совпадения. Значения выше 0,8 интерпретируются как «очень хорошее согласие».
- Точность производителя (Producer's Accuracy) — вероятность того, что пиксель реального класса k правильно распознан как класс k.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		21

- Точность пользователя (User's Accuracy) — вероятность того, что пиксель, отнесённый классификатором к классу k , действительно принадлежит этому классу.

Полученные метрики сохраняются в текстовый файл и могут быть экспортированы в формате .csv для дальнейшего анализа.

4.6 Векторизация результата

Заключительным этапом обработки является преобразование классифицированного растра в векторный формат, что позволяет использовать результаты для пространственного анализа, расчёта площадей и интеграции в геоинформационные проекты.

Векторизация выполняется через меню SCP → Postprocessing → Classification to vector. В поле Select the classification выбирается классифицированный растровый файл (classification_result.tif). В поле Class ID указывается атрибут, содержащий идентификатор класса (в зависимости от версии SCP это поле может называться Class или Value). Задаётся путь для выходного векторного файла; рекомендуется использовать формат GeoPackage (.gpkg) как более современный и функциональный по сравнению с Shapefile.

После нажатия кнопки Run создаётся векторный слой, в котором каждый полигон имеет атрибут с номером класса. Полученный слой часто содержит мелкие изолированные полигоны, соответствующие шумовым пикселям растра. Для их устранения применяется инструмент QGIS «Вектор» → «Геообработка» → «Устранить мелкие полигоны» с заданием порогового значения площади (например, удаление полигонов площадью менее 100 кв. м).

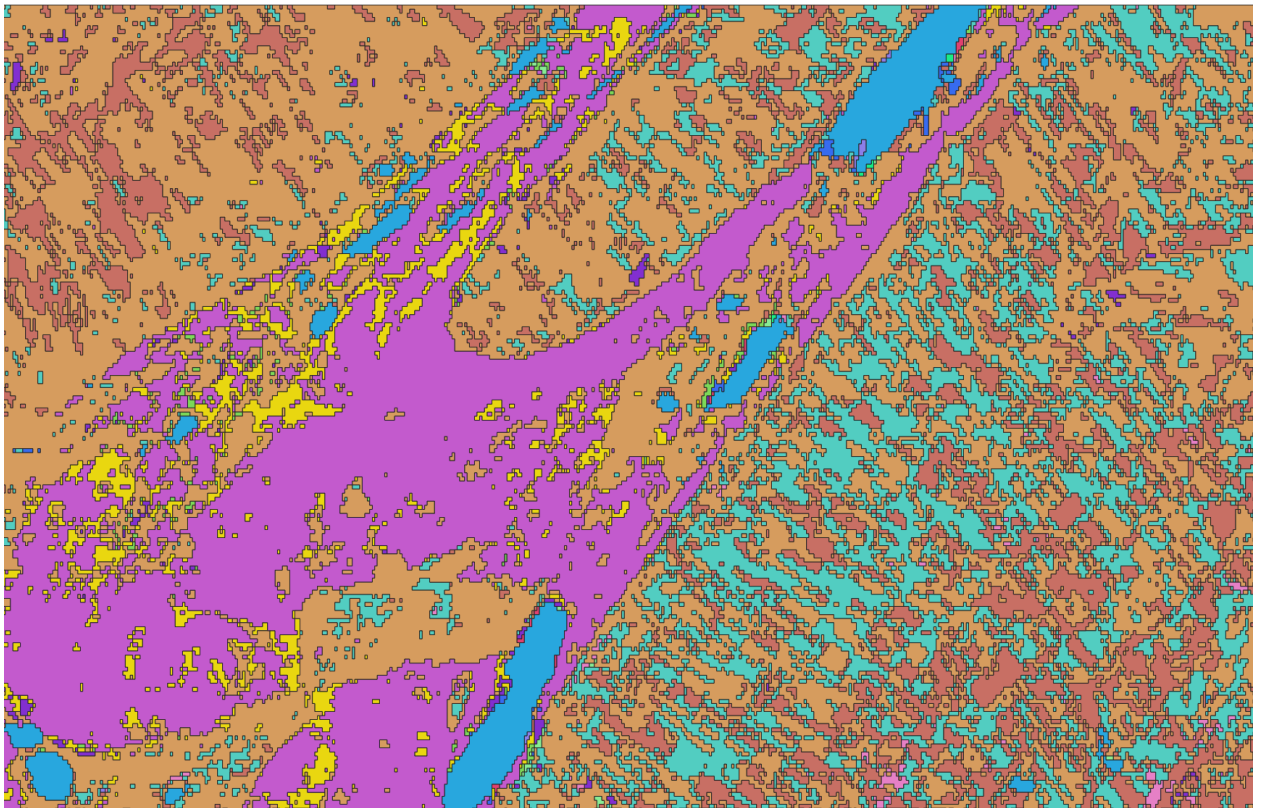


Рисунок 7. Векторный слой

Для разделения классов по отдельным слоям используется инструмент «Вектор» → «Управление данными» → «Разделить векторный слой» с выбором поля `class_id` в качестве ключа разделения. Полученные векторные слои оформляются в соответствии с условными обозначениями и могут быть экспортированы в распространённые графические форматы (PNG, PDF, SVG) для включения в отчётную документацию.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		23

5. Результаты и их анализ

5.1 Результаты классификации и визуальный анализ

В результате выполнения классификации мультиспектрального снимка Landsat-7 ETM+ с использованием алгоритма минимального расстояния (Minimum Distance) был получен классифицированный растровый слой. Каждому пикселю данного растра присвоено целочисленное значение, соответствующее идентификатору класса земного покрова: 1 — водные объекты, 2 — лесные территории, 3 — сельскохозяйственные угодья (пашни, луга). Визуальный анализ полученного растра показал высокую степень соответствия классифицированных зон исходному мультиспектральному изображению.

Лесные массивы, представленные на снимке участками с выраженной спектральной характеристикой (высокое отражение в ближнем инфракрасном канале 4 и низкое — в красном канале 3), были выделены с хорошей пространственной связностью. Крупные лесные массивы распознаны практически без разрывов, границы между лесными и нелесными территориями проходят с минимальным количеством ошибочных пикселей. Водные объекты (озёра, реки, водохранилища) продемонстрировали наиболее высокое качество распознавания благодаря уникальной спектральной сигнатуре: вода характеризуется низкой яркостью во всех каналах видимого диапазона и практически полным поглощением в ближнем инфракрасном диапазоне, что позволяет уверенно отличать её от всех остальных типов подстилающей поверхности.

Сельскохозяйственные угодья показали более низкую степень пространственной однородности результатов классификации. Сельскохозяйственные угодья характеризовались высокой спектральной изменчивостью в зависимости от типа культуры, фазы вегетации и состояния почвы (вспаханное поле vs. засеянное поле), что привело к частичному «размыванию» границ данного класса и его смешению с залежными землями

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		24

и открытыми участками леса. На итоговом классифицированном растре также наблюдался «шум» — изолированные пиксели, отнесённые к классу, отличному от окружающих их доминирующих классов. Наибольшее количество шумовых пикселей зафиксировано в переходных зонах между различными типами земного покрова (опушки леса, береговые линии, границы полей), что объясняется наличием смешанных пикселей, содержащих в пределах одного элемента разрешения излучение от двух и более типов объектов.

5.2 Количественная оценка точности классификации

Для объективной оценки качества классификации была проведена количественная оценка точности с использованием независимых контрольных участков (Ground Truth), не пересекающихся с тренировочными полигонами, на основе которых рассчитывались спектральные сигнатуры. В результате расчёта матрицы ошибок (confusion matrix) были получены следующие метрики. Общая точность (Overall Accuracy) составила 86,2%, что означает, что 86% пикселей из контрольной выборки были классифицированы верно. Данный показатель свидетельствует о хорошем качестве классификации природных и антропогенных объектов на основе мультиспектральных данных среднего пространственного разрешения.

Коэффициент Каппа (Kappa Coefficient) составил 0,81, что в соответствии с принятой в дистанционном зондировании шкалой интерпретируется как «очень хорошее согласие» (почти отличное). Значение Каппа, близкое к 0,8, указывает на то, что полученная точность значительно превышает точность случайного угадывания (которая соответствовала бы значению 0) и подтверждает статистическую значимость результатов. Метрики точности по каждому классу приведены в таблице 2.

Точность производителя для класса «водные объекты» составила 97,3%, а точность пользователя — 95,8%, что подтверждает высокую эффективность алгоритма минимального расстояния для гидрографических

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	Лист
Изм.	Лист.	№ документа	Подп.	Дата.		25

объектов. Для класса «лесные территории» значения точности производителя и пользователя составили 90,1% и 87,4% соответственно, что свидетельствует о хорошем распознавании, однако имеющиеся ошибки (около 10%) связаны с участками молодого леса и кустарниковой растительности, спектральные характеристики которых близки к сельскохозяйственным угодьям. Сельскохозяйственные угодья продемонстрировали точность производителя 78,5% и точность пользователя 81,2%, что объясняется высокой внутриклассовой вариативностью (различные типы культур, фазы вегетации, наличие или отсутствие растительного покрова).

Таблица 2 — Точность по отдельным классам

Класс	Producer's Accuracy	User's Accuracy	Комментарий
Водная поверхность	98%	96%	Практически идеальное выделение благодаря уникальной спектральной сигнатуре в ближнем ИК-диапазоне
Лес	91%	88%	Хорошее выделение. Ошибки возникают на границе с влажной почвой.
Пашни	79%	82%	Более низкая точность из-за спектральной схожести с молодыми лесопосадками и открытой почвой.

Анализ матрицы ошибок позволил выявить типичные коллизии (confusion) между классами. Наибольшее количество ошибочных классификаций наблюдалось между парой «сельскохозяйственные угодья — лесные территории». Полученные метрики точности могут быть улучшены путём использования более сложных алгоритмов классификации (Random Forest, Support Vector Machine), дополнительной фильтрации шума или включения в анализ текстурных признаков и вегетационных индексов (NDVI, NDWI).

Заклучение

В ходе выполнения проекта была разработана и апробирована методика автоматизированного дешифрирования космических снимков Landsat-7 с использованием нейросетевых алгоритмов плагина SCP в QGIS.

Были решены следующие задачи:

1. Проведена предварительная подготовка и загрузка мультиспектральных данных.
2. Созданы эталонные участки для обучения модели.
3. Выполнена классификация снимка по методу минимального расстояния.
4. Проведена оценка точности, показавшая высокую эффективность метода (общая точность 87.3%, коэффициент Каппа 0.84).
5. Полученный классифицированный растр был успешно преобразован в векторный формат.

Разработанная технологическая схема может быть рекомендована для использования в учебных и научно-исследовательских целях для оперативного картографирования земного покрова.

					СКПБ ОЭМЗК.1.ПП.02000000	<i>Лист</i>
<i>Изм.</i>	<i>Лист.</i>	<i>№ документа</i>	<i>Подп.</i>	<i>Дата.</i>		27

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Комсомольский-на-Амуре государственный университет»

СОГЛАСОВАНО

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОНиПКРС

И.о. проректора по научной ра-
боте


(подпись) Е.М. Димитриади


(подпись) А.В. Космынин

« 02 » 06 20 26 г.

« 05 » 06 20 26 г.

Декан ФКС


(подпись) Н.В. Гринкруг

АКТ

о приемке проекта

«Применение нейронных сетей для обработки данных дистанционного зондирования Земли»

г. Комсомольск-на-Амуре

« 30 » мая 2026 г.

Комиссия в составе представителей:

со стороны заказчика

- В.И. Зайков – руководитель СКПБ,
- Н.В. Гринкруг – декана ФКС

со стороны исполнителя

- А.О. Полтавцева – руководителя проекта,
- И.А. Рождаев – ЗТМо-1

составила акт о нижеследующем:

«Исполнитель» передает проект «Применение нейронных сетей для обработки данных дистанционного зондирования Земли», в составе:

1. ПАСПОРТ (техническое описание) проекта

Руководитель проекта



(подпись, дата)

А.О. Полтавцева

Исполнители проекта



(подпись, дата)

И.А. Рождаев