

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 09.04.02 Информационные системы и технологии  
 Отделение школы (НОЦ) Информационных технология

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Программная реализация сверточных нейронных сетей U-Net и исследование их эффективности в задачах классификации на изображениях деревьев пихты, пораженных уссурийским полиграфом

УДК 004.415.2.032.26:528.77:630.4

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ81	Фоминский Александр Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Марков Николай Григорьевич	д.т.н		

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	к.э.н		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Горбенко Михаил Владимирович	к.т.н		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Савельев Алексей Олегович	к.т.н		

Томск – 2020 г.

Группа 8ИМ81  
09.04.02 «Информационные системы и технологии»  
(Системная инженерия программного обеспечения)

Планируемые результаты обучения

Код результатов	Результаты обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО (3++), СУОС, критерии АИОР, требования профессиональных стандартов (ПК-1, ..., ПК-11)
Р1	Воспринимать и самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественно-научные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте.	Требования ФГОС ВО (3++) (ОПК-1,2; ПК-1; УК-1,4,6), критерий 5 АИОР (п. 1.1), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р2	Владеть и применять методы и средства получения, хранения, переработки и представления информации посредством современных компьютерных технологий, в том числе в глобальных компьютерных сетях.	Требования ФГОС ВО (3++) (ОПК-1,2,6,7; ПК-1,2,3,5,10; УК-1), критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.2), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р3	Демонстрировать способность выстраивать логику рассуждений и высказываний, основанных на интерпретации данных, интегрированных из разных областей науки и техники, выносить суждения на основании неполных данных, анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями.	Требования ФГОС ВО (3++) (ОПК-1,3,6; ПК-5,6; УК-1,6), критерий 5 АИОР (п. 1.2), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р4	Анализировать и оценивать уровни своих компетенций в сочетании со способностью и готовностью к саморегулированию дальнейшего образования и профессиональной мобильности. Демонстрировать способность к самостоятельному обучению новым методам исследования, способность самостоятельно приобретать с помощью информационных технологий и использовать в практической деятельности новые знания и умения.	Требования ФГОС ВО (3++) (ОПК-1,4,6; УК-6), критерий 5 АИОР (п. 1.6, п. 2.2,2.6.), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р5	Владеть современными коммуникативными технологиями, в том числе на иностранном языке для академического и профессионального взаимодействия. Владеть, по крайней мере, одним из иностранных языков на уровне	Требования ФГОС ВО (3++) (ОПК-1,3; УК-3,4,5; ПК-7,8,9). Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.

Код результатов	Результаты обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС ВО (3++), СУОС, критерии АИОР, требования профессиональных стандартов (ПК-1, ..., ПК-11)
	социального и профессионального общения, применять специальную лексику и профессиональную терминологию языка.	
Р6	Использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских, проектных работ и профессиональной эксплуатации современных программных и информационных систем, в управлении коллективом. Способность организовывать и эффективно руководить работой команды проекта при разработке программных и информационных систем.	Требования ФГОС ВО (3++) (УК-2,3,5; ПК-5,6,7,8,11; ОПК-1,8), критерий 5 АИОР (п. 2.1, п. 2.3, п. 1.5), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р7	Разрабатывать стратегии проектирования, критерии эффективности и ограничения применимости новых методов и средств проектирования и разработки программных систем.	Требования ФГОС ВО (3++) (УК-1,3; ПК-1,3,10; ОПК-2,4,6,7), критерий 5 АИОР (п. 2.2), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р8	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные (численные) исследования в области создания программных систем. Оценивать и выбирать вариант архитектуры программной/информационной системы.	Требования ФГОС ВО (3++) (ОПК-1,4,6,7; ПК-1,3,10; УК-1,3), критерий 5 АИОР (п. 1.4), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р9	Владеть методами и средствами инженерии требований к системам, управления качеством программного обеспечения и системной интеграции/модернизации программного обеспечения.	Требования ФГОС ВО (3++) (УК-1; ОПК-4,5,7; ПК-1,2,4,8,11). Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р10	Владеть современными инструментальными средствами программирования и технологиями управления данными. Использовать их при разработке требований, при проектировании и создании программного обеспечения, информационных систем/автоматизированных систем управления производством.	Требования ФГОС ВО (3++) (ПК-1,2,4,5,7,9,11; ОПК-2,5,7; УК-2). Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р11	Осуществлять проектирование и разработку веб и мультимедийных приложений в среде корпоративных и глобальных информационно-телекоммуникационных систем.	Требования ФГОС ВО (3++) (ПК-1,2,3,5,6,9,11; ОПК-2,4,5,7; УК-2,3,5). Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.
Р12	Осуществлять управление процессами внедрения/сопровождения (модернизации,	Требования ФГОС ВО (3++) (ОПК-4,6,8; ПК-1,4,5,6,8,9,11;

<b>Код результатов</b>	<b>Результаты обучения (выпускник должен быть готов)</b>	<b>Требования ФГОС ВО (3++), СУОС, критерии АИОР, требования профессиональных стандартов (ПК-1, ..., ПК-11)</b>
	интеграции) программных и информационных систем на основе принципов и методов системной инженерии.	УК-2,3,4), критерий 5 АИОР (п. 2.6), соответствующий международным стандартам EUR-ACE и FEANI. Запросы студентов, отечественных и зарубежных работодателей.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки (специальность) 09.04.02 Информационные системы и технологии  
 Отделение школы (НОЦ) Информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

\_\_\_\_\_  
 (Подпись)                      (Дата)                      (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
8ИМ81	Фоминский Александр Сергеевич

Тема работы:

Программная реализация сверточных нейронных сетей U-Net и исследование их эффективности в задачах классификации на изображениях деревьев пихты, пораженных уссурийским полиграфом	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.20 № 59-46/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	15.06.2020
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p><i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Объектом исследования данной работы являются сверточные нейронные сети класса U-Net. В качестве исходных данных выступали снимки лесных массивов Томской области с беспилотных летательных аппаратов. Исследуемые сверточные нейронные сети должны соответствовать следующим требованиям:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Сети должны сегментировать пихты четырех классов повреждения;</li> </ol>
---	---

	2. Сети должны функционировать в режиме реального времени;
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Анализ предметной области</li> <li>2. Подготовка данных</li> <li>3. Обучение СНС</li> <li>4. Анализ полученных результатов</li> <li>5. Экономическая часть</li> <li>6. Социальная ответственность</li> </ol>
<p><b>Перечень графического материала</b></p> <p><i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Снимки с беспилотного летательного аппарата</li> <li>2. Результаты детектирования пихт с помощью сверточных нейронных сетей</li> </ol>
<p><b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b></p> <p><i>(с указанием разделов)</i></p>	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	Горбенко Михаил Владимирович
Раздел на иностранном языке	Маркова Наталия Александровна
<p><b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b></p>	
Обучение сверточных нейронных сетей	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	
--	--

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Марков Николай Григорьевич	д.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ81	Фоминский Александр Сергеевич		

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
 федеральное государственное автономное  
 образовательное учреждение высшего образования  
 «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки (специальность) 09.04.02 Информационные системы и технологии  
 Уровень образования Магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) Информационных технологий и робототехники  
 Период выполнения \_\_\_\_\_ (осенний / весенний семестр 2019 /2020 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация
--------------------------

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
02.03.2020	Анализ предметной области	15
09.03.2020	Подготовка данных	15
25.05.2020	Обучение СНС	30
31.05.2020	Анализ полученных результатов	20
31.05.2020	Экономическая часть	10
03.06.2020	Социальная ответственность	10

**СОСТАВИЛ:**

**Руководитель ВКР**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОИТ	Марков Николай Григорьевич	Д.Т.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ	Савельев Алексей Олегович	К.Т.Н.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
8ИМ81	Фоминский Александр Сергеевич

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОИТ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Информационные системы и технологии

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Оклады руководителя и исполнителя. Стоимость материальных ресурсов определяется на основе открытых данных.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	—
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30 %; НДС – 20%

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Планирование процесса управления НИИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результата ВКР.
2. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка экономической эффективности использования результатов ВКР, характеристика других видов эффекта

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. *Диаграмма Ганта*
2. *Диаграмма занятости ресурсов*

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конотопский Владимир Юрьевич	К.Э.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ81	Фоминский Александр Сергеевич		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ИМ81	Фоминский Александр Сергеевич

<b>Инженерная школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение</b>	<b>ОИТ</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистр	<b>Направление/специальность</b>	09.04.02 Информационные системы и технологии

Тема ВКР:

Программная реализация сверточных нейронных сетей UNet и исследование их эффективности в задачах классификации на изображениях деревьев пихты, пораженных уссурийским полиграфом	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Информационная система для семантической сегментации крон деревьев пихты
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002;</li> <li>- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы;</li> <li>- ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;</li> <li>- ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения;</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Отклонение показателей микроклимата;</li> <li>- Превышение уровня шума;</li> <li>- Отсутствие или недостаток естественного света и недостаточная освещенность рабочей зоны;</li> <li>- Психофизиологические факторы;</li> <li>- Повышенный уровень электромагнитных излучений.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Загрязнение атмосферы;</li> <li>- Загрязнение гидросферы.</li> </ul>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Пожар</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Горбенко Михаил Владимирович	к.т.н		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ81	Фоминский Александр Сергеевич		

## **Реферат**

Стр. 67, источников литературы 22, иллюстраций 25, таблиц 17.

Ключевые слова: Семантическая сегментация, свёрточные нейронные сети, U-Net, V-Net, деревья пихты, уссурийский полиграф.

Объект исследования данной работы: архитектуры свёрточных нейронных сетей, позволяющих решать задачу семантической сегментации.

Цель работы: исследовать эффективность наиболее известных архитектур свёрточных нейронных сетей, которые позволяют решать задачи семантической сегментации и осуществить выбор наиболее подходящей из них для решения таких задач.

Область применения: Сегментация категорий крон пихт, поражённых уссурийским полиграфом.

## **Использованные термины и определения**

U-Net, V-Net – архитектуры нейронных сетей для сегментации изображений.

БПЛА – беспилотный летательный аппарат.

Компьютерное зрение – теория и технология создания машин, которые могут производить обнаружение, отслеживание и классификацию объектов.

СНС – сверточная нейронная сеть, специальная архитектура нейронных сетей, предложенная Яном Лекуном, изначально нацеленная на эффективное распознавание изображений.

Уссурийский полиграф – вид жуков-короедов. Опасный инвазивный вредитель-дендрофаг пихты

## Содержание

Введение.....	16
1 Анализ предметной области.....	18
1.1 Постановка задачи.....	18
1.2 Обзор входных данных.....	21
2 Свёрточные нейронные сети для сегментации изображений.....	23
2.1 Архитектуры СНС для сегментации изображений.....	23
2.2 Архитектура U-Net.....	26
2.3 Разреженная U-Net архитектура.....	27
2.4 Архитектура V-Net.....	29
3 Программная реализация СНС.....	30
3.1 Библиотеки для программирования СНС класса U-Net.....	30
3.2 Разметка изображений.....	30
3.3 Обучение нейронной сети и анализ результатов.....	33
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	36
4.1 Планирование научно-исследовательских работ.....	36
4.1.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	36
4.1.2 Определение трудоёмкости выполненных работ.....	38
4.1.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	40
4.2 Бюджет научно-технического исследования (НТИ).....	42
4.2.1 Расчёт амортизационных расходы.....	42
4.2.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей системы.....	42
4.2.3 Расчет затрат на социальный налог.....	43
4.2.4 Расчёт затрат на электроэнергию.....	44
4.2.5 Расчет прочих расходов.....	44
4.2.6 Расчет общей себестоимости разработки.....	44
4.2.7 Расчет прибыли.....	45
4.2.8 Расчет НДС.....	45

4.2.9 Цена разработки НИР.....	45
5 Социальная ответственность.....	46
5.1 Введение.....	46
5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	46
5.3 Производственная безопасность.....	47
5.4 Анализ вредных и производственных факторов.....	48
5.4.1 Микроклимат.....	48
5.4.2 Электромагнитное излучение.....	49
5.4.3 Освещённость.....	50
5.4.5 Электробезопасность.....	52
5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	54
Выводы по разделу.....	54
Заключение.....	56
Список литературных источников.....	57
Приложение А.....	60

## Введение

Проблема своевременного обнаружения вредителей леса продолжает оставаться актуальной и в настоящее время. При этом, уссурийский полиграф является одним из крупнейших вредителей в таежных лесах Сибири, в том числе в Томской области [1]. Возможным способом решения данной проблемы является мониторинг состояния лесов с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). В дальнейшем изображения, полученные с БПЛА, необходимо анализировать в стационарных условиях. Этот процесс можно автоматизировать с помощью свёрточных нейронных сетей (СНС). По сути необходимо с помощью СНС определять на снимках с БПЛА категории деревьев пихты, поражённых уссурийским полиграфом.

Задачу анализа снимков с БПЛА можно решить как задачу семантической сегментации изображений. Существуют различные типы СНС для семантической сегментации изображений. Цель ВКР – исследовать эффективность наиболее известных архитектур СНС класса U-Net, которые позволяют решать задачи семантической сегментации снимков с БПЛА пихтовых лесов и осуществить выбор наиболее подходящей из них для решения такой задачи.

Для достижения этой цели были поставлены и решались следующие задачи:

- исследовать различные архитектуры СНС класса U-Net для сегментации изображений;
- разметить снимки с БПЛА пихтовых лесов для анализа их с помощью СНС;
- проанализировать полученные результаты исследований.

В первом разделе дано краткое описание предметной области, сформулирована задача исследования.

Во втором разделе приведён обзор архитектур СНС.

Третий раздел посвящён программной реализации СНС и исследованию их эффективности при решении задач семантической сегментации.

В четвёртом разделе рассмотрены вопросы финансового менеджмента.

Пятый раздел содержит описание правовых и организационных вопросов обеспечения безопасности при выполнении ВКР.

## **1 Анализ предметной области**

### **1.1 Постановка задачи**

Уссурийский полиграф или *Polygraphus proximus* является одним из видов жуков-короедов [1]. Первичным ареалом обитания вредителя является Дальний Восток, Северо-Восточный Китай, Корея и Япония. В России к первичному ареалу уссурийского полиграфа можно отнести Хабаровский край, Приморский край и Сахалинскую область.

В настоящее время было отмечено появление уссурийского полиграфа в лесах Южной Сибири. Одной из причин проблемы является транспортировка по железной дороге дальневосточной пихты. В местах первичного ареала он не представляет опасности, так как поражает в основном ослабленные и больные деревья. Однако, в Сибирских лесах уссурийский полиграф поражает здоровые деревья.

Уссурийский полиграф встречается не только в эксплуатационных лесах, но и на особо охраняемых территориях. Таким образом, вредитель наносит не только экологический ущерб, но и экономический. Например, пихта сибирская является источником сырья для производства медицинских препаратов.

Для того чтобы остановить распространение негативного влияния уссурийского полиграфа работникам лесного хозяйства необходимо обращать особое внимание на состояние пихтовых насаждений.

Уссурийский полиграф может поражать деревья в разной степени. Для оценки деревьев в очагах уссурийского полиграфа разработана шкала, учитывающая биологию вредителя и защитные свойства пихты (табл. 1) [4]. При использовании данной шкалы признаки состояния кроны, ствола и внутренние признаки принимаются равнозначными. Итоговая оценка дерева дается по категории худшего состояния, зафиксированного хотя бы в одной из групп признаков.

Таблица 1 – Описание категорий деревьев

Категория дерева	Признаки кроны	Признаки ствола	Внутренние признаки
I. Здоровое, без признаков ослабления. Не атаковано полиграфом	Крона густая, протяжённая, хвоя зелёная, блестящая	Механические повреждения и смоляные потёки отсутствуют	Луб не поврежден
II. Ослабленное. Атаковано полиграфом, но не заселено	Крона может быть, как у здорового дерева или изреженная, флагообразная, несколько ветвей (до 10) могут нести на концах хвою ярко-рыжего цвета. Могут быть признаки ржавчинного рака пихты ("ведьмины мётлы", наросты на ветвях)	Умеренное количество свежих и (или) старых (засохших) смоляных потёков. Входные отверстия полиграфа засмолены (отбитые попытки поселения). Могут быть признаки ржавчинного рака пихты (раковые язвы на стволе в количестве 1–3)	Луб свежий, белого цвета, в местах попыток поселения полиграфа некротические пятна разной величины
III. Сильно ослабленное. Атаковано полиграфом, но не заселено	Крона, в зависимости от времени и интенсивности заселения, может быть как у здорового дерева, но чаще изреженная, хвоя бледно-зелёная либо более половины ветвей несут усыхающую хвою. Обычны "ведьмины мётлы", наросты на ветвях	Интенсивные свежие и (или) старые смоляные потёки. В нижней части ствола незасмоленные входные отверстия полиграфа. Обычны признаки ржавчинного рака пихты (многочисленные язвы, наросты на ветвях). Трещины ствола	Луб такой же, как у деревьев II категории. Входной канал и брачная камера засмолены, удавшихся поселений полиграфа нет
IV. Усыхающее. Заселено полиграфом	Хвоя в верхней части кроны еще зелёная, ниже – ярко-рыжего цвета	Могут оставаться старые смоляные потёки. На поверхности коры многочисленные незасмоленные входные отверстия	Под корой поселения полиграфа. Луб большей частью свежий, розоватый, с пятнами некрозов у короедных гнёзд
V. Свежий сухостой (дерево в процессе отработки)	Хвоя в кроне полностью мёртвая, красная, сохраняется	На коре могут быть свежие вылетные отверстия полиграфа	Под корой разные стадии развития полиграфа, энтомофаги. Луб влажный, буряющий
VI. Старый сухостой (дерево отработано стволовыми насекомыми)	Крона мёртвая, серая, хвоя осыпалась. В зависимости от года усыхания дерева осыпаются ветки разного порядка	На коре многочисленные вылетные отверстия полиграфа. Кора при сильном повреждении легко отстает и осыпается	Луб бурый, сухой. На заболони отпечатки ходов полиграфа, углубленные куколочные камеры

Осуществляя мониторинг состояния пихтовых лесов, специалистами рассчитываются индексы, такие как жизненное состояние (L), поврежденность древостоя (D) [5], средневзвешенная категория состояния деревьев в древостое (СКС) [6]. Данные индексы помогают рассчитать категорию дерева. Чтобы рассчитать индексы достаточно точно, число деревьев должно быть не менее 100.

Данные показатели рассчитываются как по количеству деревьев, так и по площади поперечного сечения стволов (для этого необходимо произвести замер диаметра ствола на высоте 1,3 м). Второй способ используется чаще, так как площадь поперечного сечения и запас древесины в древостое коррелируют. Отмирающие и погибшие деревья могут достаточно сильно влиять на значения индексов. На рисунке 1 показаны категории состояния крон деревьев пихты.



Рисунок 1 – Категории деревьев

Было решено разбить деревья на классы, сгруппировав при этом некоторые из них. Это было сделано в силу того, что при разметке данных

визуально отделить некоторые классы друг от друга почти невозможно. Таким образом, итоговая классификация пихт по степени поражения выглядит следующим образом:

- Зеленые (здоровые, ослабленные);
- жёлтые (усыхающие);
- красные (свежие сухостои);
- засохшие (старые сухостои).

## 1.2 Обзор входных данных

Были получены 4 аэрофотоснимка с БПЛА. На рисунках 2 и 3 показаны 2 из них.

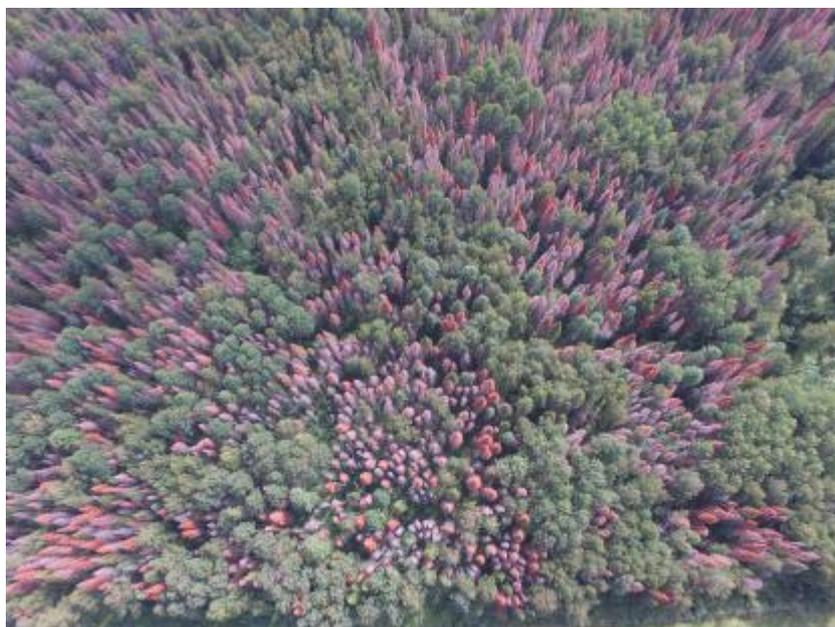


Рисунок 2 – Первый аэрофотоснимок



Рисунок 3 – Второй аэрофотоснимок

На каждом из снимков присутствуют деревья пихты всех классов. Из снимков видно, что по краям достаточно проблематично определять классы крон деревьев пихты, поэтому для обучения необходимо выбрать фрагмент снимка, на котором однозначно можно определить категории крон деревьев ПИХТЫ.

## 2 Свёрточные нейронные сети для сегментации изображений

### 2.1 Архитектуры СНС для сегментации изображений

Задачу семантической сегментации изображений можно решать с помощью нейронных сетей.

Нейронная сеть представляет собой структуру, состоящую из искусственных нейронов, определенным образом связанных друг с другом и внешней средой с помощью связей, каждая из которых имеет определённый коэффициент, на который умножается поступающее через него значение (эти коэффициенты называют весами). Схема нейронной сети показана на рисунке 4.

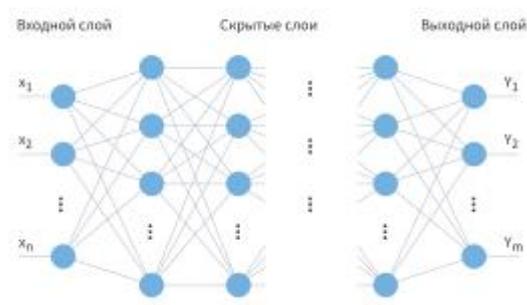


Рисунок 4 – Структура нейронной сети

Нейронные сети могут реализоваться как программно, так и аппаратно (нейрочипы, нейрокомпьютеры).

В процессе функционирования нейронная сеть осуществляется преобразование данных, конкретный вид которого определяется весами межнейронных связей, видом активационной функции нейронов, архитектурой и конфигурацией сети

Нейронные сети представляют собой модели, основанные на машинном обучении, т.е. приобретают необходимые свойства в процессе обучения, который заключается в итеративной подстройке весов сети по некоторому правилу, называемому алгоритмом обучения.

При построении нейронных сетей может применяться как обучение с учителем (для многослойных персептронов), так и без учителя (для сетей Кохонена).

Наиболее часто нейронные сети используются для решения следующих задач:

- Аппроксимация функций – восстановление функциональных зависимостей из обучающих данных.
- Классификация – определение принадлежности входного образа (объекта), представленного вектором признаков, к одному из предварительно заданных классов.
- Кластеризация – группировка объектов на основе близости их свойств.
- Прогнозирование – предсказание значения  $y(t_{n+1})$  при заданной последовательности  $y(t_1), y(t_2), \dots, y(t_n)$ .
- Оптимизация – нахождение решения, удовлетворяющего системе ограничений и максимизирующим или минимизирующим целевую функцию.
- Ассоциативная память – память, адресуемая по содержанию, используемая в системах сверхбыстрого поиска.
- Управление – расчет такого входного воздействия на систему, при котором она следует по желаемой траектории.
- Распознавание речи и машинный перевод.
- Обработка изображений.

Нейронные сети широко используются в анализе данных, а нейросетевые модули входят в состав практически любой аналитической платформы. Основные задачи, решаемые с помощью нейронных сетей в анализе данных, это численное предсказание, классификация, кластеризация и прогнозирование.

Первый работающий алгоритм обучения искусственных нейронных сетей – дельта-правило, был предложен в 1949 году Дональдом Хэббом. Первая

практически функционирующая нейронная сеть (однослойный персептрон), была разработана Ф. Розенблаттом в 1958 году.

Основным недостатком классических нейронных сетей для обработки изображений является большой размер входного вектора данных, в результате увеличивается количество нейронов каждого слоя и сеть становится тяжелой и сложной для обучения. Кроме того, классические нейронные сети не учитывают топологию исходного изображения, так как принимают его целиком. Этих недостатков лишены сверточные нейронные сети (СНС), которые состоят из специальных сверточных и подвыборочных слоев. СНС имеют двумерную иерархическую структуру, нейроны сгруппированы в плоскости, а плоскости сгруппированы в слои. От слоя к слою размер плоскостей постепенно уменьшается, таким образом последние слои имеют классический вид многослойного персептрона. СНС основаны на принципах локального восприятия и разделяемых весов. Под локальным восприятием подразумевается, что на вход одного нейрона поступают не все выходы предыдущего слоя, а лишь некоторая определенная их часть [9, 10]. Под разделяемыми весами подразумевается, что для большинства связей используется небольшой набор весов, называемых ядрами. Ядро представляет из себя матрицу, которая применяется к вектору данных посредством математической операции свертки. Суть этой операции заключается в поэлементном умножении фрагмента изображения на матрицу ядра, суммировании полученных значений и записи результата в аналогичную позицию выходного изображения, которое называется картой признаков. Таким образом, сверточные нейронные сети обладают гораздо меньшим количеством настраиваемых параметров. Также данный тип нейронных сетей обладает высокой устойчивостью к изменению масштаба, сдвигу и повороту и к другим преобразованиям входных данных.

Существуют различные типы СНС для сегментации, такие как U-Net, разряженный U-Net и V-Net.

В последнее время неплохие результаты сегментации изображений были достигнуты с помощью U-Net.

Существуют различные типы СНС для сегментации, такие как U-Net, разряженный U-Net и V-Net.

В последнее время неплохие результаты сегментации изображений были достигнуты с помощью U-Net.

## **2.2 Архитектура U-Net**

U-Net – это свёрточная нейронная сеть. Архитектура U-Net была создана в 2015 году для сегментации биомедицинских изображений на кафедре компьютерных наук университета Фрайбурга. Архитектура сети представляет собой полносвязную свёрточную сеть, модифицированную таким образом, чтобы она могла работать с меньшим количеством примеров (обучающих образов) и делала более точную сегментацию.

Сеть содержит сжимающий путь (слева, рисунок 4) и расширяющий путь (справа, рисунок 4), поэтому архитектура похожа на букву U, которая отражена в названии. На каждом шаге мы удваиваем количество каналов признаков.

Сжимающий путь похож на типичную свёрточную сеть, он содержит два последовательных слоя свёртки размером  $3 \times 3$ , после которых идет слой ReLU и пулинг с функцией максимума  $2 \times 2$  с шагом 2.

Каждый шаг расширяющего пути содержит слой, обратный пулингу, который расширяет карту признаков, после которого следует свертка  $2 \times 2$ , которая уменьшает количество каналов признаков. После идет конкатенация с соответствующим образом обрезанной картой признаков из сжимающего пути и две свертки  $3 \times 3$ , после каждой из которой идет ReLU. Обрезка нужна из-за того, что мы теряем пограничные пиксели в каждой свёртке. На последнем слое свертка  $1 \times 1$  используется для приведения каждого 64-компонентного вектора признаков до требуемого количества классов [11]. На рисунке 6 показана схема данной сети.

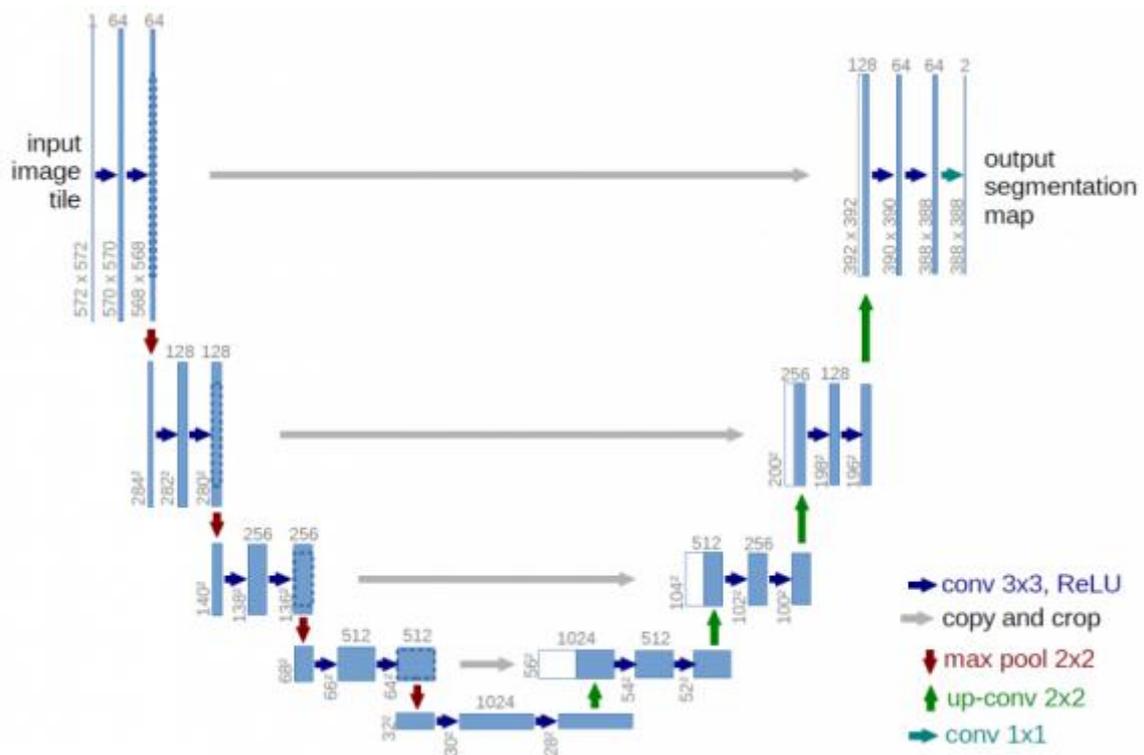


Рисунок 4 – Схема архитектуры U-Net

### 2.3 Разреженная U-Net архитектура

В данной архитектуре СНС подкласса U-Net используются слои разреженной свертки.

Сверточные ядра с различными факторами разреженности приведены на рисунке 5.

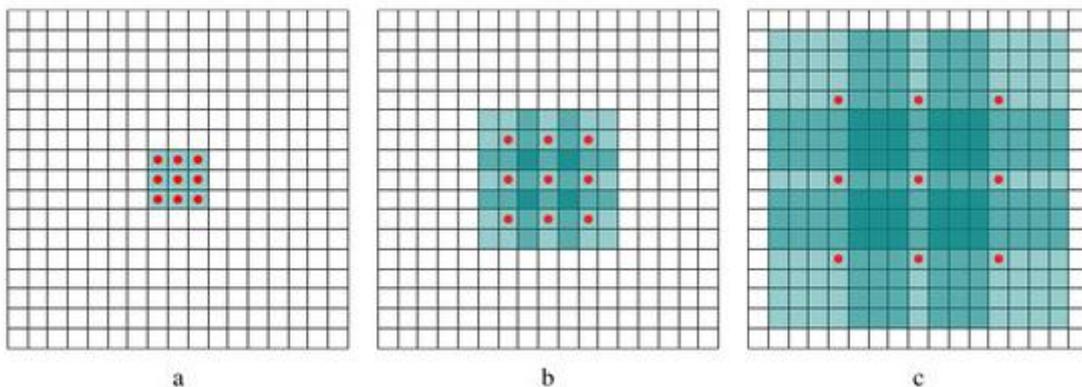


Рисунок 5 – Разреженные сверточные ядра

а – фактор разреженности 1

б – фактор разреженности 2

с – фактор разреженности 4

Красные точки на рисунке 7 – ненулевые веса (все остальные равны 0). Изображение взято из работы [8], где ядра имеют нулевую рамку шириной на единицу меньше фактора разреженности ядра. Однако в библиотеке Keras нулевая рамка отсутствует, что и будет подразумеваться далее.

Сверточное ядро с фактором разреженности, равным единице, эквивалентно ядру обычной свертки.

Сверточное ядро размерностью  $3 \times 3$  с фактором разреженности 2 имеет область восприятия размерностью  $5 \times 5$ , с фактором 4 —  $9 \times 9$ .

Отличие разреженной U-Net архитектуры от обычной состоит в том, что в блоках энкодера и декодера две свертки  $3 \times 3$  заменены одной разреженной сверткой  $3 \times 3$  с фактором 2.

Две последовательные свертки  $3 \times 3$  эквивалентны одной свертке  $5 \times 5$ . При этом в первом случае количество весовых коэффициентов равно 18, а во втором — 25. Разреженная свертка  $3 \times 3$  с фактором 2 также имеет область восприятия  $5 \times 5$ , а количество весовых коэффициентов в таком ядре свертки равно 9. Таким образом в разреженной версии архитектуры U-Net весовых коэффициентов сверточных фильтров в два раза меньше при неизменной области восприятия.

Разреженная U-Net архитектура приведена на рисунке 6. Возле стрелок указаны размерности карт признаков.

В схеме использованы следующие обозначения:

- ELU – функция активации ELU
- Pool – слой понижения дискретизации
- ConvTranspose – слой транспонированной свертки
- En – блок энкодера
- De – блок декодера
- DC – слой разреженной свертки
- BN – батч-нормализация
- Drop – слой dropout-нормализации

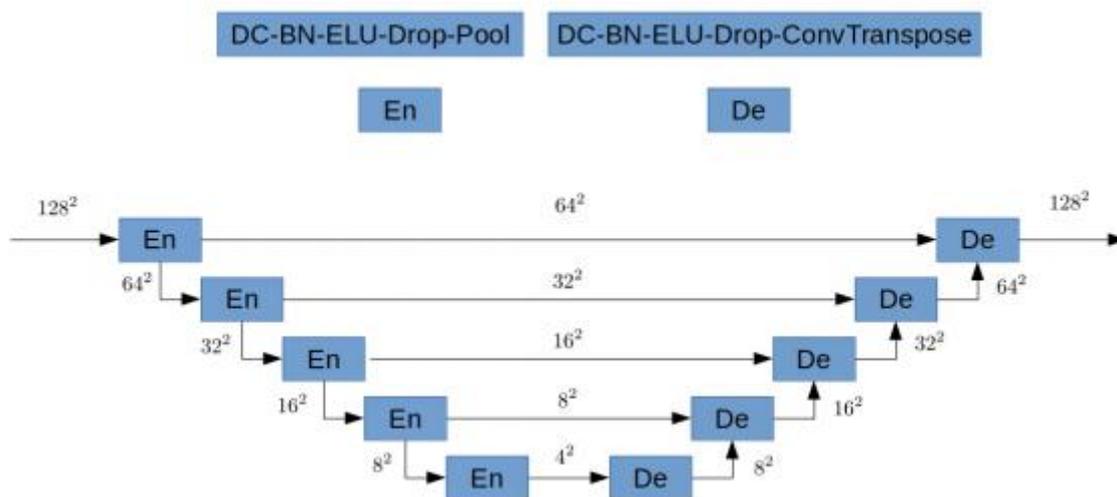


Рисунок 6 – Разреженная U-Net архитектура

## 2.4 Архитектура V-Net

Основное отличие этой архитектуры от вышеописанных заключается в плотно-соединенных блоках в энкодере и декодере. Кроме этого добавлен блок скрытого представления (Bottleneck) между энкодером и декодером [12].

Архитектура V-Net представлена на рисунке 7.

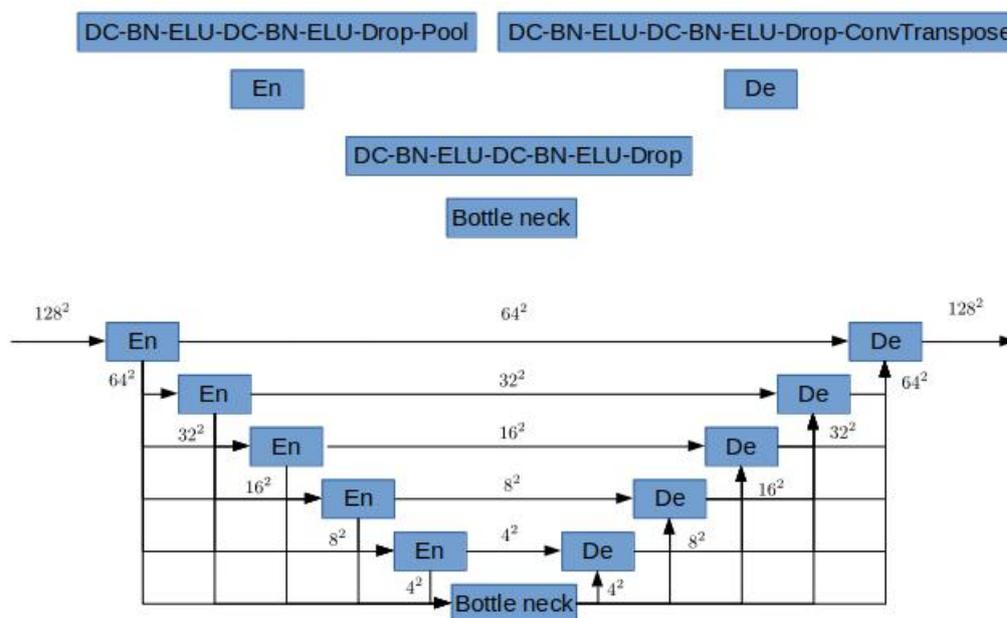


Рисунок 7 – Архитектура V-Net

### **3 Программная реализация СНС**

#### **3.1 Библиотеки для программирования СНС класса U-Net**

Для реализации СНС доступны различные библиотеки под разные языки программирования. Например, в языке C# используются ML.NET и Accord, в языке C++ – Caffe, для Java – DL4J [8, 9]. Также существуют различные библиотеки и для языка Python. Например, Tensorflow (Keras), Pytorch [10, 11, 12, 13].

Была поставлена задача реализации на языке программирования Python. Проанализировав библиотеки для языка программирования Python, было принято решение использовать библиотеку Tensorflow в связке с Keras. Данная библиотека содержит подробную документацию, а также включает в себя Keras, который упрощает процесс написания нейронных сетей.

#### **3.2 Разметка изображений**

Для исследования эффективности различных архитектур СНС класса U-Net были использованы два больших снимка с БПЛА пихтовых лесов Томской области. Для обучения СНС был выбран наиболее качественные фрагменты снимков (рисунок 8). Они были разрезаны на изображения размером 256x256 пикселей, получаемые сдвигом по фрагменту с шагом 64 пикселя.



Рисунок 8 – Фрагмент аэрофотоснимка для подачи на вход нейронным сетям

Для увеличения числа изображений был применён метод аугментации. Для этого исходные изображения были повернуты на 90, 180 и 270 градусов. При создании обучающей выборки нарезанные изображения были размечены следующим образом: на каждом изображении были отмечены класс объектов фона и классы зелёных, жёлтых, красных и серых крон деревьев пихты. Обучающая выборка состояла из 1912 изображений, тестовая – из 409 изображений, валидационная – из 100 изображений. Затем из этих изображений для решения задачи бинарной классификации были получены изображения с двумя классами: фон и зелёные кроны, фон и жёлтые кроны, фон и красные кроны, фон и серые кроны, которые поступали на вход нейронных сетей. Здесь класс “фон” включал объекты фона и кроны деревьев пихты, не относящихся к интересующему нас классу крон (рисунки 9 – 12).

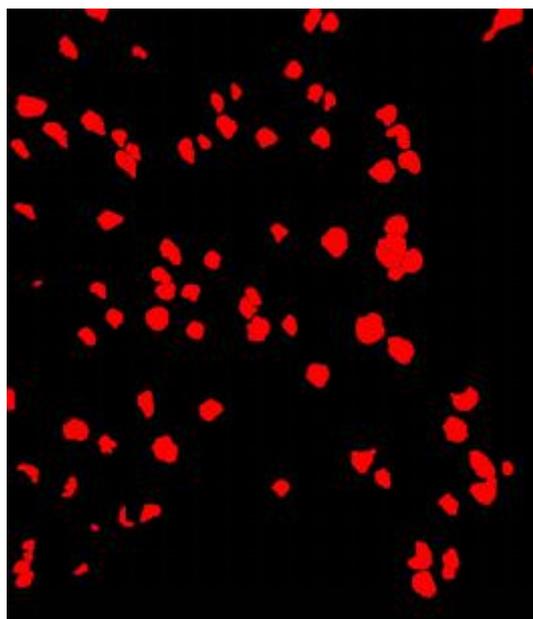


Рисунок 9 – Размеченная маска для красных крон деревьев пихты

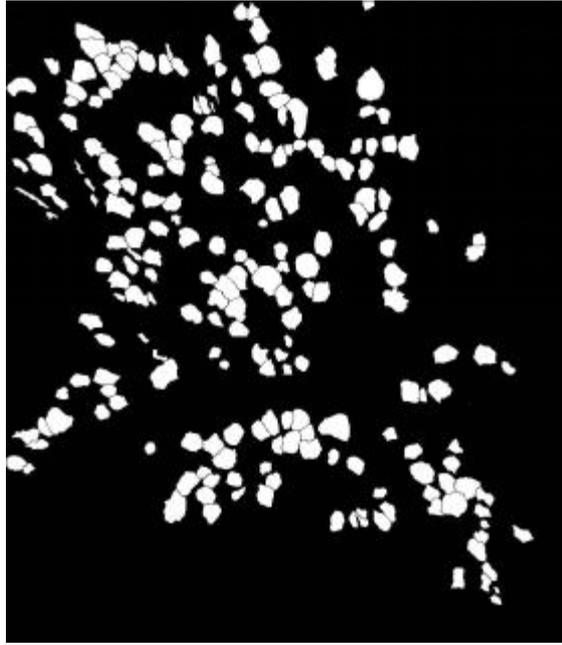


Рисунок 10 – Размеченная маска для серых крон деревьев пихты

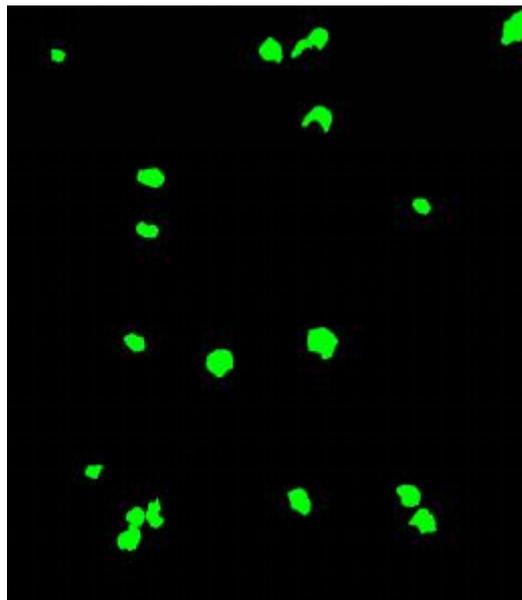


Рисунок 11 – Размеченная маска для зелёных крон деревьев пихты

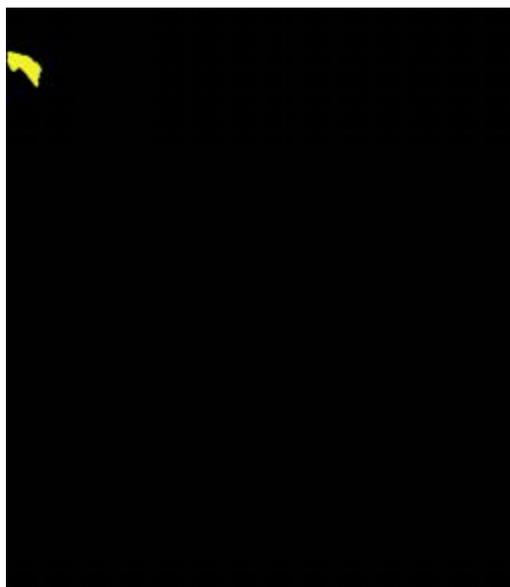


Рисунок 12 – Размеченная маска для жёлтых крон деревьев пихты

### **3.3 Обучение нейронной сети и анализ результатов**

Исследование эффективности этих архитектур СНС проводилось на тестовых изображениях размером 256x256 пикселей, полученных из второго снимка с БПЛА, и с использованием метрики оценки качества сегментации. В качестве метрики была использована F1-мера. Так как разреженная U-Net отличается от V-Net и классической U-Net такими гиперпараметрами как количество разреженных слоёв и фактор разреженности (а остальные совпадают), поэтому было принято решение об исследовании зависимости F1-меры от этих гиперпараметров. В таблице 2 представлены результаты исследования гиперпараметров для разрежённой U-Net. В таблице 3 показано результаты исследования всех используемых архитектур СНС.

Таблица 2. Результаты исследования гиперпараметров для разреженной

U-Net

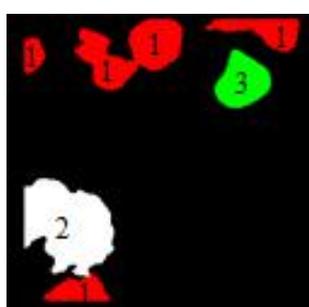
Количество разреженных слоёв	Значение F1-меры для каждого из классов крон пихты				
	Цвет крон деревьев пихты	Красные	Серые	Зелёные	Жёлтые
	Фактор разреженности				
1	1	0.72	0.80	0.23	0.01
	2	0.73	0.83	0.40	0.04
	4	0.80	0.82	0.41	0.05
	8	0.79	0.80	0.59	0.02
	16	0.74	0.74	0.33	0.03
2	1	0.71	0.83	0.22	0.06
	2	0.81	0.81	0.32	0.07
	4	0.82	0.84	0.40	0.02
	8	0.73	0.83	0.43	0.02
	16	0.81	0.79	0.18	0.01
3	1	0.83	0.84	0.28	0.03
	2	0.79	0.78	0.45	0.05
	4	0.72	0.81	0.33	0.04
	8	0.80	0.80	0.35	0.09
	16	0.80	0.59	0.25	0.01
4	1	0.70	0.80	0.11	0.02
	2	0.91	0.76	0.38	0.04
	4	0.73	0.81	0.42	0.05
	8	0.71	0.75	0.50	0.03
	16	0.73	0.83	0.40	0.02

Из таблицы видно, что наилучших показателей разрежённая U-Net показывает при количестве разреженных слоёв равным 2 и факторе разреженности 2. Разреженная U-Net с данными гиперпараметрами была сравнена с U-Net и V-Net. В таблице 3 показано результаты исследования всех используемых архитектур СНС.

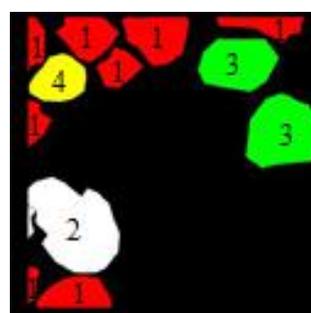
Таблица 3. Результаты исследования различных архитектур СНС

Архитектуры СНС	Значение F1-меры для каждого из классов крон пихты			
	Красные (1 класс)	Серые (2 класс)	Зелёные (3 класс)	Жёлтые (4 класс)
U-Net	0.87	0.86	0.47	0.01
Разряженная U-Net	0.82	0.84	0.40	0.02
V-Net	0.85	0.85	0.33	0.01

При тестировании каждая СНС предсказала маску по каждому из классов крон. Затем получившиеся по всем классам крон маски были объединены в одно изображения. Пример такого изображения в случае СНС U-Net приведён на рис. 13а. На рис. 13б показана исходная маска. Цифры на кронах указывают на их класс. Видно, что часть контуров крон не совпадает.



а – предсказанная маска



б – исходная маска

Рисунок 13 – Маски классов крон деревьев пихты

Из таблицы 2 следует, что все три архитектуры СНС дают весьма высокие результаты по точности сегментации для классов красных и серых крон деревьев, но точность ниже для класса зелёных и значительно хуже для пихт с жёлтыми кронами. В ходе исследования было выявлено, что наибольшее значение F1-меры было получено для СНС U-Net, с которой предстоит дальнейшая работа по улучшению качества сегментации.

## 4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

### 4.1 Планирование научно-исследовательских работ

#### 4.1.1 Структура работ в рамках научного исследования

Ниже представлена таблица выполненных работ с указанием исполнителей.

Таблица 4 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Этапы работ	Исполнители	Загрузка исполнителей
Выбор направления исследования	Исполнитель, руководитель	Исполнитель – 50%, руководитель – 50%
Планирование работ	Исполнитель	Исполнитель – 100%
Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	Исполнитель – 100%
Изучение архитектур свёрточных нейронных сетей	Исполнитель	Исполнитель – 100%
Выбор наиболее подходящих архитектур нейронных сетей	Исполнитель	Исполнитель – 100%
Получение изображений	Руководитель	Руководитель – 100%
Выбор средства для разметки изображений	Исполнитель	Исполнитель – 100%
Разметка изображений	Исполнитель	Исполнитель – 100%
Согласование с руководителем основных средств разработки	Руководитель, исполнитель	Руководитель – 50%, исполнитель – 50%

Изучение литературы	Исполнитель	Исполнитель – 100%
Реализация приложения с использованием выбранной архитектуры свёрточной нейронной сети	Исполнитель	Исполнитель – 100%
Тестирование приложения	Исполнитель	Исполнитель – 100%
Исправление ошибок	Исполнитель	Исполнитель – 100%
Написание отчёта	Исполнитель	Исполнитель – 100%

#### 4.1.2 Определение трудоёмкости выполненных работ

Следующим этапом являлось определение ожидаемого значения трудоёмкости выполненных работ.

Оно вычисляется по следующей формуле:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}$$

Также необходимо вычислить продолжительность каждой работы в рабочих днях.

Она вычисляется по следующей формуле:

$$T_{рД} = \frac{t_{ожж}}{K_{вн}} * K_{д}$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;

$K_{вн}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно  $K_{вн} = 1$ ;

$K_{д}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек и согласование работ (было принято использовать  $K_{д} = 1.2$ ).

В таблице 2 приведено количество календарных дней, необходимых для каждого этапа разработки.

Данный показатель вычисляется по следующей формуле:

$$T_{кД} = T_{рД} * T_{к}$$

где  $T_{кД}$  – продолжительность выполнения этапа в календарных днях;

$T_{к}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях ( $T_{к} = 1.205$ ).

Ниже приведена таблица, в которой отражены временные показатели проведения научного исследования.

Таблица 5 – Временные показатели проведения научного исследования

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
					$T_{РД}$		$T_{КД}$	
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	НР	И	НР	И
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Выбор направления исследования	Исполнитель, Руководитель	1	3	1,8	0,99	0,99	1,188	1,188
Планирование работ	Исполнитель	2	4	2,8	-	3,08	-	3,696
Подбор и изучение материалов по теме	Исполнитель	3	5	3,8	-	4,18	-	5,016
Изучение архитектур свёрточных нейронных сетей	Исполнитель	5	10	7	-	7,7	-	9,24
Выбор наиболее подходящих архитектур нейронных сетей	Исполнитель	2	3	2,4	-	2,64	-	3,168
Получение изображений	Руководитель	1	3	1,8	0,99	0,99	1,188	1,188
Выбор средства для разметки изображений	Исполнитель	1	2	1,4	-	1,54	-	1,848
Разметка изображений	Исполнитель	15	20	17	-	18,7		22,44
Согласование с руководителем основных средств разработки	Руководитель, исполнитель	1	2	1,4	0,77	0,77	0,924	0,924

Изучение литературы	Исполнитель	1	3	1,8	-	1,98	-	2,376
Реализация приложения с использованием выбранной архитектуры свёрточной нейронной сети	Исполнитель	10	15	12	-	13,2	-	15,84
Тестирование приложения	Исполнитель	1	3	1,8	-	1,98	-	2,376
Исправление ошибок	Исполнитель	2	3	2,4	-	2,64	-	3,168
Написание отчёта	Исполнитель	3	5	3,8	-	4,18	-	5,016
Итого		48	81	61,2	2,75	64,57	3,3	77,484

### 4.1.3 Разработка графика проведения научного исследования

Далее для наглядного отображения распределения работ между участниками проекта была построена диаграмма Ганта (рисунок 14).

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

На рисунке 15 представлена занятость ресурсов.

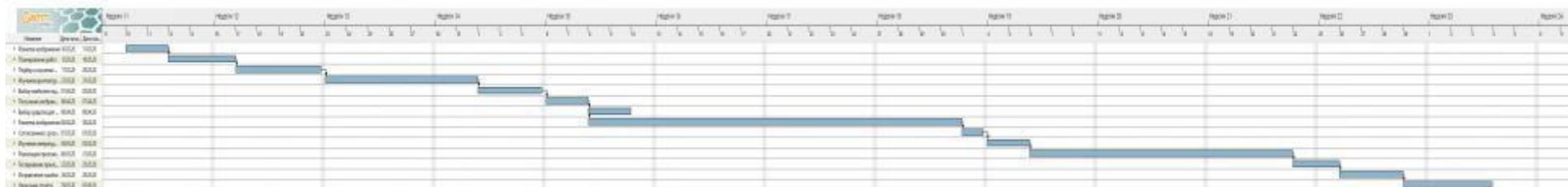


Рисунок 14 – Диаграмма Ганта

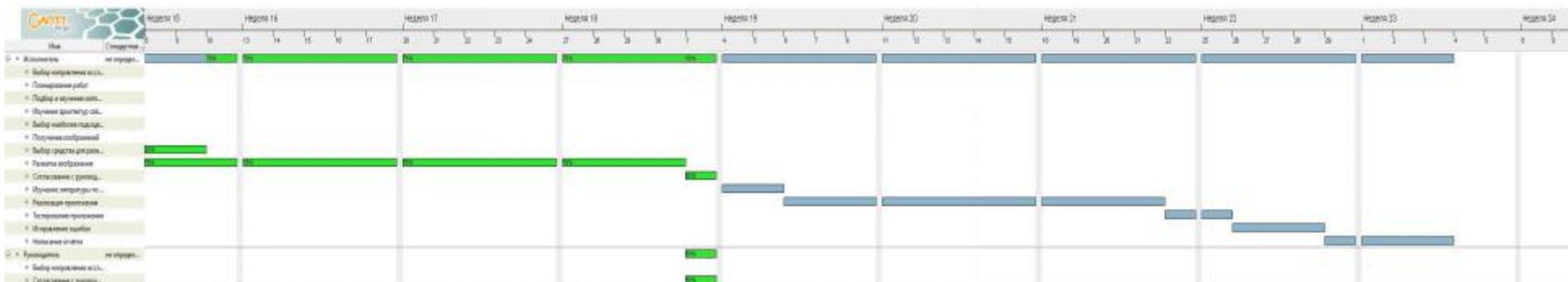


Рисунок 15 – Занятость ресурсов

## 4.2 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

### 4.2.1 Расчёт амортизационных расходы

В качестве оборудования, которое использовалось при проведении работ использовался личный ноутбук и персональный компьютер, который стоит в компьютерном классе 401 10 корпуса. Оборудование не покупалось, поэтому затраты были вычислены в виде амортизационных отчислений.

Амортизационные расходы высчитываются по следующей формуле:

$$C_{AM} = \frac{H_A * Ц_{OB} * n * t_{PФ}}{F_D}$$

где  $H_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования;

$Ц_{OB}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п.;

$F_D$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования;

$t_{PФ}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта;

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования.

В таблице 6 приведены затраты на оборудование, которое использовалось при проведении работ.

Таблица 6 – Амортизационные расходы

Наименование оборудования	$H_A$	$Ц_{OB}$	$F_D$	$t_{PФ}$	$n$	$C_{AM}$
Ноутбук	0.25	20000	2384	510	1	1069.63
Персональный компьютер	0.5	45000	2384	10	1	94.38
Итого						1164.01

### 4.2.2 Основная и дополнительная заработная плата исполнителей системы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера (в его роли выступает исполнитель проекта), а также

премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя. Среднедневная тарифная заработная плата ( $ЗП_{дн-т}$ ) рассчитывается по формуле:

$$ЗП_{дн-т} = \frac{МО}{25.083}$$

учитывающей, что в году 301 рабочий день и, следовательно, в месяце в среднем 25,083 рабочих дня (при шестидневной рабочей неделе).

Пример расчета затрат на полную заработную плату приведены в таблице 7. Затраты времени по каждому исполнителю в рабочих днях с округлением до целого взяты из таблицы 5. Для учета в ее составе премий, дополнительной зарплаты и районной надбавки используется следующий ряд коэффициентов:  $K_{ПР} = 1,1$ ;  $K_{доп.ЗП} = 1,188$ ;  $K_p = 1,3$ . Таким образом, для перехода от тарифной (базовой) суммы заработка исполнителя, связанной с участием в проекте, к соответствующему полному заработку (зарплатной части сметы) необходимо первую умножить на интегральный коэффициент  $K_{и} = 1,1 * 1,188 * 1,3 = 1,699$ . Вышеуказанное значение  $K_{доп.ЗП}$  применяется при шестидневной рабочей неделе, при пятидневной оно равно 1,113, соответственно в этом случае  $K_{и} = 1,62$ .

Таблица 7 – Расчёт зарплат

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка руб./раб.день	Затраты времени, раб.дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	47 104	1877,93	4	1,699	12 694,80
И	9 489	378,30	65	1,62	39 834,99
Итого					52 529,79

#### 4.2.3 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование,

составляют 30 % от полной заработной платы по проекту. Итак, в нашем случае Затраты на единый социальный налог равны 15758,94 руб.

#### 4.2.4 Расчёт затрат на электроэнергию

Далее нужно рассчитать затраты на электроэнергию. Результат расчёта представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Расчёт затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$ , час	Потребляемая мощность $P_{об}$ , кВт	Затраты $C_{об}$ , руб.
Персональный компьютер	510	0,3	1008,27
Ноутбук	10	0,3	19,77
Итого			1028,04

#### 4.2.5 Расчет прочих расходов

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{\text{проч}} = (C_{\text{мат}} + C_{\text{зп}} + C_{\text{соц}} + C_{\text{эл.об}} + C_{\text{ам}} + C_{\text{ни}}) * 0.1$$

Для нашего примера это 7048,08 руб.

#### 4.2.6 Расчет общей себестоимости разработки

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта (таблица 9).

Таблица 9 – Смета затрат на разработку проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Основная заработная плата	$C_{зп}$	52529,79
Отчисления в социальные фонды	$C_{соц}$	15758,94
Расходы на электроэнергию	$C_{эл.}$	1028,04
Амортизационные отчисления	$C_{ам}$	1164,01
Прочие расходы	$C_{проч}$	7048,08
Итого		77528,86

Таким образом, затраты на разработку составили 77528,86 руб.

#### **4.2.7 Расчет прибыли**

Прибыль от реализации проекта в зависимости от конкретной ситуации (масштаб и характер получаемого результата, степень его определенности и коммерциализации, специфика целевого сегмента рынка и т.д.) может определяться различными способами. Если исполнитель работы не располагает данными для применения «сложных» методов, то прибыль следует принять в размере 5 ÷ 20 % от полной себестоимости проекта. В нашем примере она составляет 15505,78 руб. (20 %) от расходов на разработку проекта.

#### **4.2.8 Расчет НДС**

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В нашем случае это 18606,93 руб.

#### **4.2.9 Цена разработки НИР**

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в нашем случае 111641,57 руб.

## **5 Социальная ответственность**

### **5.1 Введение**

Объектом исследования данного раздела магистерской диссертации, является информационная система для семантической сегментации крон деревьев пихты. Система предназначена для использования сотрудниками ООО «Центр нефтегазовых технологий». Разработка системы проводилась дистанционно в общежитии.

Работа проводилась за личным ноутбуком. Для эффективного ведения разработки обозначенной системы, необходимо учитывать социальные, правовые и экологические вопросы охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.

### **5.2 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Основным документом, который регулирует вопросы охраны и организации труда является Трудовой кодекс [14].

Согласно Трудовому кодексу продолжительность рабочей недели не должна превышать 40 часов в неделю. Но для несовершеннолетних и инвалидов I и II группы рабочая неделя меньше.

Продолжительность сверхурочных работ для работника не должна превышать 4 часов в течение 2 дней подряд и 120 часов в год.

Работодатель должен предоставлять перерыв для отдыха и питания, продолжительность которого от 30 минут до 2 часов. Также сотруднику должен предоставляться оплачиваемый отпуск продолжительностью 28 календарных дней.

Согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03х [15] и Трудовому кодексу работник, проводящий более 50% рабочего времени за ЭВМ должен проходить медицинский осмотр при поступлении на работу и периодически.

Работу разработчика программного обеспечения можно отнести к сидячей работе.

Рабочее место при выполнении работ в положении сидя должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 [16].

Рабочее место оператора должно также удовлетворять ГОСТ Р 50923-96 [17]. При организации рабочего места должны быть учтены параметры, которые указаны в таблице 10.

Таблица 10 – Параметры рабочего места при сидячей работе

Параметры	Значение параметра	Реальные значения
Высота рабочей поверхности стола	От 600 до 800 мм	720
Высота от стола до клавиатуры	Около 20 мм	20
Высота клавиатуры	600-700, мм	600
Удаленность клавиатуры от края стола	Не менее 80 мм	300
Удаленность экрана монитора от глаз	500-700, мм	600
Высота сидения	400-500, мм	470
Угол наклона монитора	0-30, град.	0
Наклон подставки ног	0-20, град.	0

Как видно из таблицы, по большинству параметров рабочее место удовлетворяет нормам ГОСТ Р 50923-96. Но удаленность клавиатуры от края стола достаточно большая, так как работа выполнялась на ноутбуке, и его требовалось отодвинуть на достаточное расстояние, чтобы удалённость экрана монитора от глаз была достаточной. Одним из решений является приобретение дополнительной клавиатуры.

### **5.3 Производственная безопасность**

Данная работа требует долгого нахождения за компьютером. При работе за компьютером можно выделить следующие вредные и опасные факторы (таблица 11).

Таблица 11 – Вредные и опасные факторы

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
1. Работа за ПК	1. Отклонение показателей микроклимата 2. Недостаток или избыток освещения	1. Электромагнитное излучение 2. Поражение электрическим током	1. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений; 2. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы; 3. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение; 4. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты;

Для предотвращения возникновения опасных факторов необходимо проводить мероприятия с целью защиты от них. Иначе, данные факторы могут привести к проблемам со здоровьем работников.

#### **5.4 Анализ вредных и производственных факторов**

##### **5.4.1 Микроклимат**

Сначала был проанализирован микроклимат производственного помещения. Микроклимат производственного помещения определяет различные параметры (например, влажность, температура и т.д).

В таблице 12 приведены оптимальные показатели для микроклимата [18].

Таблица 12 – Оптимальные показатели микроклимата

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	Iб (140 - 174)	21 - 23	20 - 24	60 - 40	0,1
	IIa (175 - 232)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	IIб (233 - 290)	17 - 19	16 - 20	60 - 40	0,2
	III (более 290)	16 - 18	15 - 19	60 - 40	0,3
Тёплый	Ia (до 139)	23 - 25	22 - 26	60 - 40	0,1
	Iб (140 - 174)	22 - 24	21 - 25	60 - 40	0,1
	IIa (175 - 232)	20 - 22	19 - 23	60 - 40	0,2
	IIб (233 - 290)	19 - 21	18 - 22	60 - 40	0,2
	III (более 290)	18 - 20	17 - 21	60 - 40	0,3

Период года на время выполнения работы – тёплый. Температура воздуха в помещении 26 °С. Данную работу можно отнести к категории Ia. Кондиционер в помещении отсутствует. Поэтому для поддержания нужной температуры необходимо проветривать помещение.

#### 5.4.2 Электромагнитное излучение

В таблице 13 представлена напряжённость электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг рабочего места по электрической составляющей.

Таблица 13 – Временные уровни ЭМП, создаваемые ПК

Наименование параметров		ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	в диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	в диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл

В качестве мер защиты от ЭМП можно рассмотреть следующие:

- Увеличение расстояния от источника;
- применение различных экранных фильтров.

#### 5.4.3 Освещённость

Одним из основных вредных производственных факторов, возникающих при работе за компьютером является недостаточная освещённость. Нормы освещённости регламентируются СП 52.13330.2011 [19].

Одними из основных причин недостаточной освещённости являются недостаточное естественное освещение, недостаточное искусственное освещение, а также пониженная контрастность.

Основным показателем качества освещения является освещенность  $E$  - поверхностная плотность светового потока. По характеристике зрительной работы труд программиста относится к разряду III подразряду Г (высокой точности), т.е. наименьший размер объекта различения от 0,3 до 0,5 мм (точка). Это значит, что нормативное значение освещенности рабочего места должно быть 300 лк.

Освещенность помещения рассчитывается по формуле [20]:

$$E_{\text{факт}} = \frac{n \cdot \Phi \cdot \eta}{S \cdot K \cdot Z}$$

где  $n$  – число светильников;

$\eta$  – коэффициент использования светового потока;

$\Phi$  – световой поток светильника, лм;

$S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$K$  – коэффициент запаса;

$Z$  – коэффициент неравномерности освещения.

Число ламп в комнате  $n = 3$ . Световой поток  $\Phi = 3800$  лм. Коэффициент запаса  $K$  для офисных и жилых помещений равен 1,2. Коэффициент неравномерности освещения для люминесцентной лампы равен 1,15. Площадь помещения равна 20 м<sup>2</sup>.

Коэффициент использования светового потока определяется при помощи таблицы на основе индекса помещения и коэффициенты отражения от стен, потолка и рабочей поверхности. Поэтому сначала найдём данные показатели.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{A \cdot B}{(h_1 - h_2) \cdot (A + B)} = \frac{5 \cdot 4}{(2,5 - 0,7) \cdot (5 + 4)} = 1,23$$

где  $S$  – площадь помещения, м<sup>2</sup>;

$A$  – длина комнаты, м;

$B$  – ширина комнаты, м;

$h$  – высота подвеса светильников, м.

Согласно таблице примем коэффициенты отражения от стен  $\rho_c = 70\%$ , потолка  $\rho_n = 50\%$  и от пола  $\rho_p = 30\%$  [20]. Следовательно, коэффициент использования равен 0,56.

Необходимо рассчитать фактическую освещённость. Рассчитаем фактическую освещённость:

$$E_{\text{факт}} = \frac{3 \cdot 3800 \cdot 0,56}{20 \cdot 1,2 \cdot 1,15} = 231 \text{ Лк}$$

Затем необходимо рассчитать численную оценку разности между фактическим значением освещённости и нормативным по следующей формуле:

$$\Delta E = \frac{|E_{\text{факт}} - E_n|}{E_n} \cdot 100\% = \frac{|231 - 300|}{300} \cdot 100\% = 23\%$$

Из расчёта видно, что освещённость комнаты меньше нормы, поэтому было принято решение использовать настольную лампу для улучшения освещённости.

#### **5.4.5 Электробезопасность**

При работе за компьютером необходимо учитывать требования электробезопасности, так как это может привести к негативным последствиям, таким как:

- Поражение электрическим током;
- возникновение пожара.

Одним из стандартов по электробезопасности является ГОСТ Р 12.1.019-2009 [21]. Согласно данному стандарту, помещение можно отнести к помещениям без повышенной опасности. Данные помещения характеризуются следующими показателями:

- Напряжение питающей сети 220 В, 50 Гц;
- относительная влажность воздуха не более 75%;
- средняя температура не более 35°C;
- наличие непроводящего полового покрытия.

В помещении используются для питания приборов напряжение 220 В переменного тока с частотой 50 Гц. Это напряжение опасно для жизни, поэтому обязательны следующие предосторожности:

- Перед началом работы убедиться, что выключатели, розетки закреплены и не имеют оголенных токоведущих частей;
- не включать в сеть компьютеры и другую оргтехнику со снятыми крышками;
- запрещается оставлять без присмотра включенное в электросеть оборудование;
- при обнаружении неисправности компьютера необходимо выключить его и отключить от сети;
- при обнаружении неисправностей или порчи оборудования необходимо, не делая никаких самостоятельных исправлений и ничего не разбирая сообщить преподавателю или ответственному за оборудование;
- запрещается загромождать рабочее место лишними предметами;
- при несчастном случае необходимо немедленно отключить питание электроустановки, вызвать скорую помощь и оказать пострадавшему первую помощь до прибытия врача, согласно правилам;
- дальнейшее продолжение работы возможно только после устранения причины поражения электрическим током;
- по окончании работы ответственный должен проверить оборудование, выключить все приборы.

### **5.5 Экологическая безопасность**

В ходе выполнения проекта и дальнейшем его использовании отсутствуют такие экологически вредные факторы, как:

- Загрязнение атмосферы (нет выбросов в атмосферу);
- загрязнение гидросферы (нет сбросов в водоёмы).

При долгом использовании компьютерная техника может выходить из строя. Её необходимо правильно утилизировать. Для утилизации необходимо обращаться в специальные организации для утилизации вышедших из строя комплектующих и расходных материалов.

## 5.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Среди всех чрезвычайных ситуаций наиболее вероятной является возникновение пожара. К пожару могут привести следующие причины:

- Неисправная электропроводка;
- нарушение мер пожарной безопасности;
- короткое замыкание.

Для уменьшения вероятности возникновения пожара необходимо проводить следующие мероприятия:

- Проведение инструктажей по пожарной безопасности;
- проведение учебных тревог;
- закупка огнетушителей;
- установка систем оповещения о пожаре.

В ходе осмотра рабочего места было выявлено, что оно оборудовано пожарными сигнализациями. Также на рабочем месте были обнаружены план эвакуации при возможном пожаре (рисунок 16) и огнетушитель.



Рисунок 16 – План эвакуации

### Выводы по разделу

В ходе работы были определены вредные и опасные факторы, влияющие на исполнителя при разработке информационной системы. Также

была проведена работа по устранению и уменьшению воздействия данных факторов.

## **Заключение**

Сегодня продолжают оставаться активной проблема мониторинга лесных массивов для своевременного обнаружения вредителей лесов. Для мониторинга используется БПЛА с соответствующим оборудованием для получения фотоснимков лесов. В работе решалась задача исследования эффективности СНС класса U-Net для семантической сегментации фотоснимков деревьев пихты, поражённых уссурийским полиграфом.

Проведён анализ наиболее известных архитектур класса U-Net. Проведено обучение этих архитектур СНС и получены результаты исследования точности сегментации снимков для каждого из четырёх классов деревьев пихты, поражённых уссурийским полиграфом.

В итоге по результатам исследований можно отметить заключение можно отметить, что кроны пихт серого и красного классов распознаются значительно лучше, чем зелёного и особенно жёлтого классов. Это является следствием малого числа таких кроны на снимках с БПЛА. Полученные результаты можно улучшить, используя для обучения СНС другие снимки пихтовых лесов.

## Список литературных источников

1. Роль инвазийного дендрофага *Polygraphus proximus* Blandf. в современных процессах деградации пихтовых лесов в Южной Сибири / С.А. Кри-вец и [др.] // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое, будущее: материалы III междунар. 44 конф. (Горно-Алтайск, 1–5 октября 2013 г.). Горно-Алтайск: Горно-Алтайский гос. ун-т. 2013. С. 262–266;
2. Уссурийский полиграф – новый агрессивный вредитель пихты в Сибири / Ю.Н. Баранчиков и [др.] // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. 2011. № 4. С. 78–81;
3. Трансформация таежных экосистем в очаге инвазии полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) в Западной Сибири / С.А. Кривец и [др.] // Российский журнал биологических инвазий. 2015. № 1. С. 41–62;
4. Кривец С.А., Бисирова Э.М. Оценка жизненного состояния пихты сибирской в очагах массового размножения уссурийского полиграфа // Экологические и экономические последствия инвазий дендрофильных насекомых: материалы Всерос. конф. с междунар. участием (Красноярск, 25–27 сентября 2012 г.). Красноярск : Институт леса СО РАН, 2012. С. 60–64;
5. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. №4. С. 51 – 57;
6. Методы мониторинга вредителей и болезней леса / под общ.ред. В.К. Тузова. М: ВНИИЛМ. 2004. 200 с.;
7. Семантическая сегментация: краткое руководство: [Электронный ресурс]. URL: <https://neurohive.io/ru/osnovy-data-science/semantic-segmentation/> (Дата обращения: 14.07.2019);
8. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс, 2-е изд. – М.: Изд-во «Вильямс», 2006. – 1104 с;
9. Efficient BackProp / Y. LeCun, L. Bottou, G.B. Orr, K.R. Muller // Neural Networks: Tricks of the trade. – Berlin: Springer, 1998. – 44 p;

10. Spatial Pyramid Pooling in Deep Convolutional Networks for Visual Recognition / K. He, X. Zhang, S. Ren, J. Sun // Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (TPAMI). – 2015. – V. 4. – P. 534–542.
11. O. Ronneberger, P. Fischer, and T. Brox. U-net: Convolutional networks for biomedical image segmentation. In International Conference on Medical image computing and computer-assisted intervention, pages 234–241. Springer, 2015;
12. F. Milletari, N. Navab and S. Ahmadi V-Net: Fully Convolutional Neural Networks for Volumetric Medical Image Segmentation, 2016 Fourth International Conference on 3D Vision (3DV), Stanford, CA, 2016. P. 565-571;
13. Метрики в задачах машинного обучения: [Электронный ресурс]. URL: <https://habr.com/ru/company/ods/blog/328372/> (Дата обращения: 15.07.2019);
14. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) // Собрание законодательства РФ. - 07.01.2002;
15. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы;
16. ГОСТ 12.2.032-78 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования;
17. ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения;
18. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений;
19. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение;
20. Метод коэффициента использования [Электронный ресурс] – URL: <https://www.websor.ru/metodkoefi.html> (дата обращения 31.05.2020);
21. Офисные светодиодные светильники [Электронный ресурс] – URL: <https://www.opisvet.ru/ofisnye-svetodiodnye-svetilniki-3800-lm/> (дата обращения 09.06.2020);

22. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.

## Приложение А

(справочное)

### Image analysis of fir trees by neural networks of class U-Net

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ81	Фоминский Александр Сергеевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Марков Николай Григорьевич	д.т.н		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Маркова Наталия Александровна			

## **Introduction**

The problem of detection of forest pests is still actual nowadays. *Polygraphus proximus* is one of the largest pests in the taiga forests of Siberia, including the Tomsk region. A possible way to solve this problem is to monitor forests using unmanned aerial vehicles (UAV). Next, scientists analyze these images in stationary conditions. This process can be automated using convolutional neural networks (CNN). Task of analysis UAV snapshots is the task of semantic image segmentation. There are different tasks of CNN for semantic image segmentation. The main purpose of this is to research different types of CNNs, which help to solve this problem and choose the best one to solve these tasks.

To achieve the purpose, the following tasks were set:

- To research different architectures of CNN for image segmentation;
- To mark up images for CNN;
- To analyse results.

The first section provides a brief description of the subject area. This section contains information on various types of fir state, a description of the data used, an overview of the SNA architectures.

The second section of the paper presents the results of segmentation. The process of training neural networks and analysis of the results are described.

## **2 Analysis of subject area**

### **2.1 Formulation of the problem**

*Polygraphus proximus* is an endemic specie of Far Eastern etnofauna brought into the territory of Southern Siberia. It causes damage of firs in the forests of Southern Siberia. The economic consequences of the invasion of the *polygraphus proximus* are also great: these are losses not only of wood, but also of other, more valuable utilities of Siberian fir. Siberian fir is a source of raw materials for the production of both traditional and unique innovative medical products.

There are various categories of tree defeats by the *polygraphus proximus* (Figure 1).



Figure 1. Tree categories

It was decided to split the trees into classes. Some classes were grouped into one. It was made, because some classes are very similar and it is very difficult to recognise them. Thus, the final classification of firs according to the degree of damage is following:

- green (healthy, weakened);
- yellow (drying out);
- red (fresh dead wood);
- grey (old dead wood).

## 2.2 Overview of input data

Two aerial pictures were taken from UAV. Figures 2 and 3 show the files.

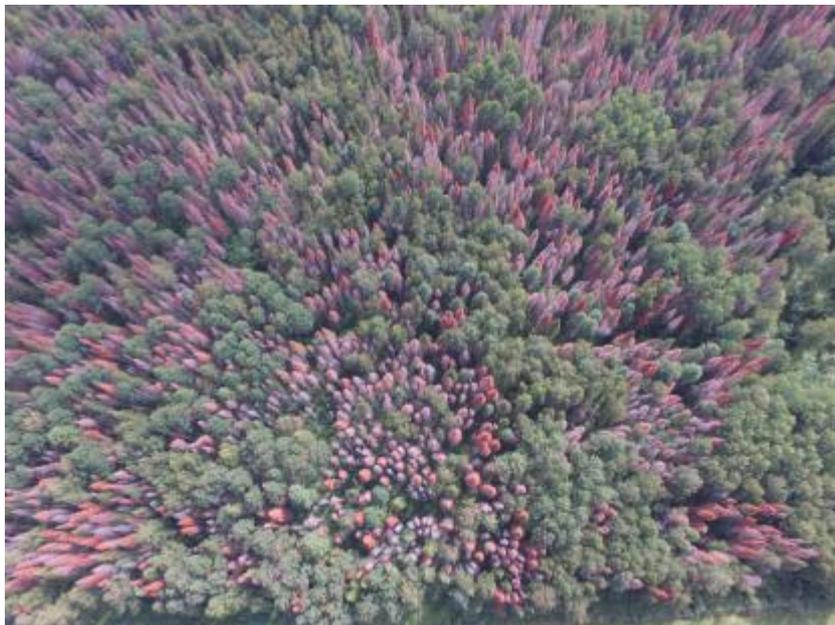


Figure 2. The first aerial image

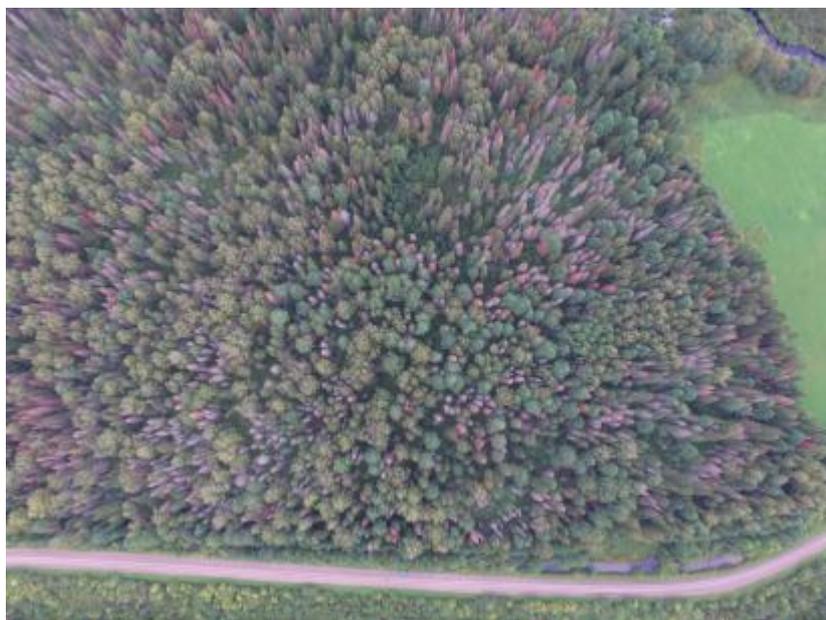


Figure 3. The second aerial image

### **3 The results of a study of the capabilities of the SNA**

#### **3.1 Image markup**

To study the effectiveness of various U-Net class CNN architectures, two large images from UAV of fir forests of the Tomsk Region were used. To train CNN the most quality part of first image was chosen. It was cut into 256x256 pixel images obtained by shifting along a fragment with a pitch of 64 pixels (Figure 4).



Figure 4. A fragment of an aerial image to train neural network

To increase the number of images, the augmentation method was used. To do this, the original images were rotated 90, 180 and 270 degrees. To create the training dataset, the sliced images were marked as follows: on each image, a class of background objects and classes of green, yellow, red and grey crowns of fir trees were marked. Trained dataset consisted of 1912 images, tested dataset consisted of 409 images, validation of dataset consisted of 100 images. Then, we got images for binary classification: background and green crowns, background and yellow crowns, background and red crowns, background and grey crowns, which were entered to the input of neural networks (Figures 5 – 8). Class “background” consists of the crowns of fir trees that are not interesting for us and some other objects.

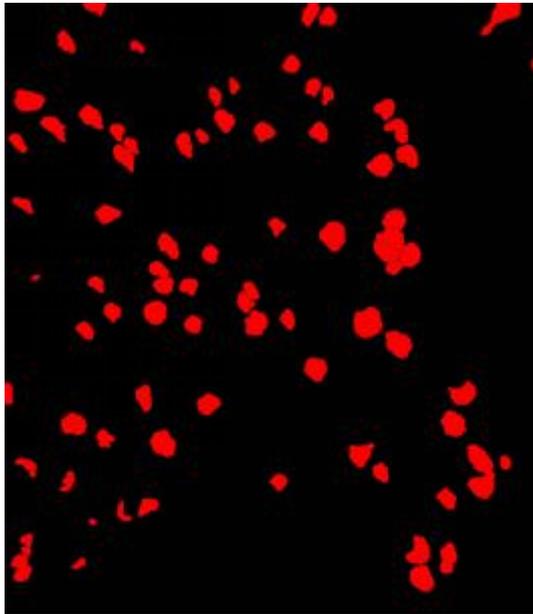


Figure 5. Marked mask for red crowns of fir trees

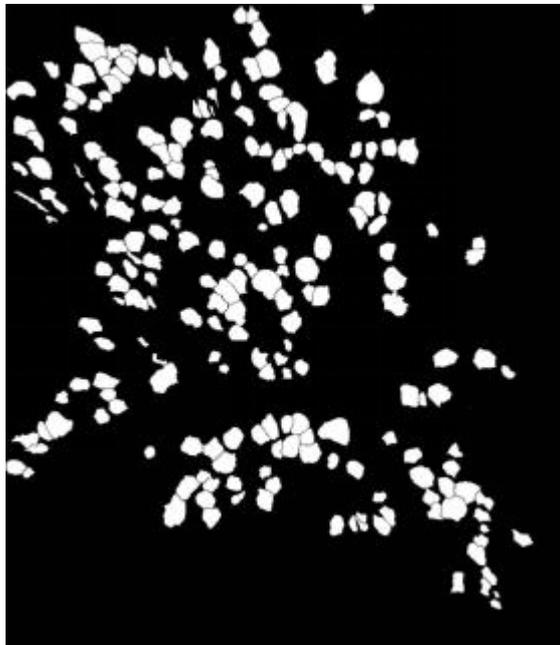


Figure 6. Marked mask for grey crowns of fir trees

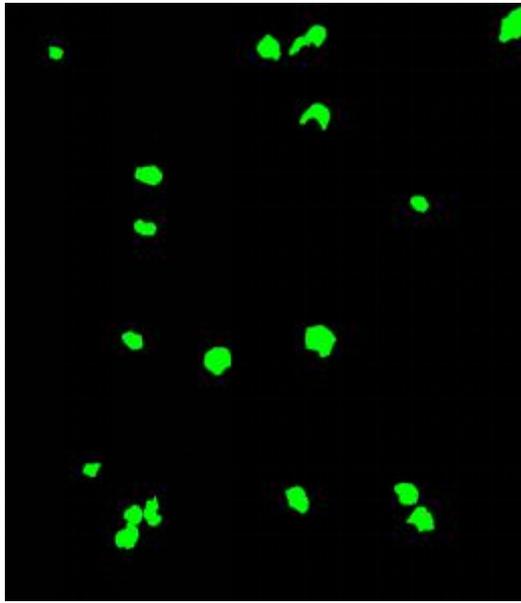


Figure 7. Marked mask for green crowns of fir trees

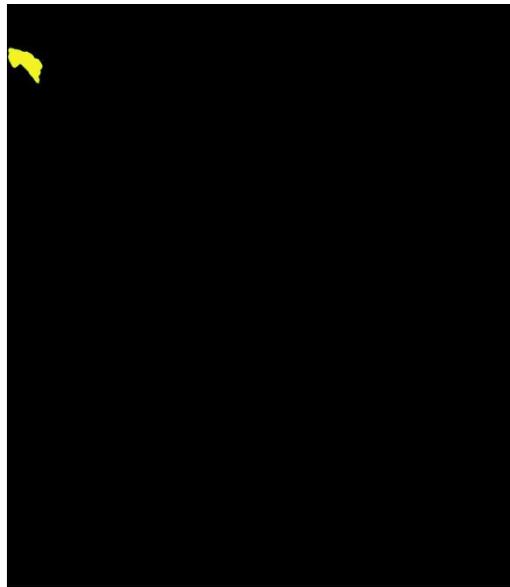


Figure 8. Marked mask for yellow crowns of fir trees

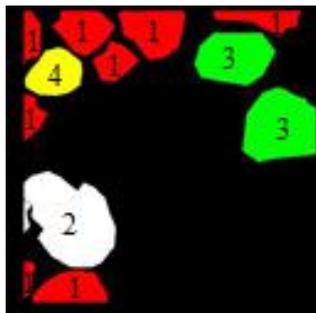
### **3.2 Training neural networks**

A study of the effectiveness of these SNA architectures was carried out on test images of 256x256 pixels in size, obtained from the second image from the UAV, and using the segmentation quality assessment metric. The F1 measure was used as a metric. Table 1 presents the results of a study of all used CNN architectures.

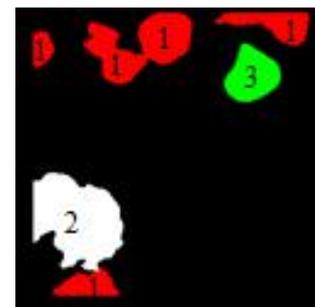
Table 1. Results of research of different CNN architectures

CNN architectures	F1-score			
	Red (1 class)	Gray (2 class)	Green (3 class)	Yellow (4 class)
U-Net	0.87	0.86	0.47	0.01
Dilated U-Net	0.82	0.84	0.40	0.02
V-Net	0.85	0.85	0.33	0.01

Each CNN predicted a mask for each classes of crowns. Then predicted masks were combined into 1 image. An example of such an image in the case of SNA U-Net is shown in Figure 9a. Figure 9b shows the original mask. The numbers on the crowns indicate their class. It can be seen that part of the crown contours does not coincide.



a – predicted mask



b – original mask

Figure 9. Masks of classes of fir tree crowns

Table 2 shows us that all three CNN architectures give very high results on segmentation accuracy for classes of red and grey tree crowns, but the accuracy is lower for the green class and significantly worse for firs with yellow crowns. The study revealed that the greatest value of the F1-measure was obtained for the CNN U-Net, with which further work is to be done to improve the quality of segmentation.