

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы

«Автоматизация процесса определения обстановок осадконакопления по каротажным данным меловых пластов и оценка её значимости при подготовке месторождений к разработке»

УДК 004.85:551.3.051:553.98

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ81	Бурдин Алексей Валерьевич		14.08.20

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД	Меркулов В.П.	к.Г.-М.Н.		17.08.20

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД ИШПР	Мельник И.А.	д.Г.-М.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рукавишников В.С.	PhD		17.08.2020г

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ООС	Белозёров В.Б.	д.Г.-М.Н.		17.08.2020

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

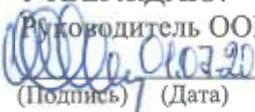
Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
21.04.01 Нефтегазовое дело	Чернова О.С.	д.Г.-М.Н.		18.08.2020г

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 Нефтегазовое дело
 Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП


 О.С. Чернова
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ81	Бурдин Алексей Валерьевич

Тема работы:

Автоматизация процесса определения обстановок осадконакопления по каротажным данным меловых пластов и оценка её значимости при подготовке месторождений к разработке	
Утверждена приказом директора ИШПР	Приказ № <u>204-9/с</u> от <u>22.07.20</u>

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.08.2020
--	------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе <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>	Методика создания программного продукта для определения обстановок осадконакопления по каротажу естественной радиоактивности
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов <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>	Аналитический обзор литературы Экспериментальная часть Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность, ресурсосбережение Социальная ответственность Заключение о работе

Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>		Графический результат полученных результатов
		Презентация
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>		
Раздел	Консультант	
Финансовый менеджмент	В.С. Рукавишников, PhD, доцент ОНД	
Социальная ответственность	В.Б. Белозёров, д.г.-м.н., профессор ОНД	
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:		
Создание моделей для определения обстановок осадконакопления		

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	01.07.2020
---	------------

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Меркулов В.П.	к.г.-м.н.		01.07.20

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ81	Бурдин Алексей Валерьевич		01.07.20

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

Студенту:

Группа	ФИО		
2ТМ81	Бурдин Алексей Валерьевич		
Школа	Инженерная школа природных ресурсов		
Уровень образования	Магистр	Направление	21.04.01 Нефтегазовое дело

Тема ВКР:

«Автоматизация процесса определения обстановок осадконакопления по каротажным данным меловых пластов и оценка её значимости при подготовке месторождений к разработке»

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов, согласно применяемой техники и технологии, в соответствии с рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников «НИ ТПУ»
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	- районный коэффициент – 1.3; - накладные расходы – 16%; - норма амортизации – 20%.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Общий налоговый режим. Отчисления во внебюджетные фонды – 30.2 %

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

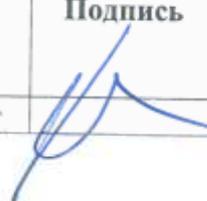
1. Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ	Определение целевого рынка и проведение его сегментирования.
2. Разработка устава научно-технического проекта	Определение целей проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.
3. Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок	Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта Определение затрат на проектирование (смета затрат)

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

Причинно-следственная диаграмма Исикавы
Иерархическая структура работ по проекту
Диаграмма Ганта работ по проекту
Сетевой план-график проекта

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 01.07.2020

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН	Рукавишников В.С.	PhD, доцент		01.07.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2TM81	Бурдин А.В.		01.07.2020г.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ81	Бурдин Алексей Валерьевич

Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение нефтегазового дела
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	21.04.01 Нефтегазовое дело

Тема ВКР:

«Автоматизация процесса определения обстановок осадконакопления по каротажным данным меловых пластов и оценка её значимости при подготовке месторождений к разработке»	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	<p>Объект исследования – программный продукт для определения обстановок осадконакопления по каротажу естественной радиоактивности</p> <p>Рабочая зона – компьютерный кабинет Центра Heriot Watt НИ ТПУ</p> <p>Область применения – интерпретация каротажных данных</p> <p>Прибор – персональный компьютер</p> <p>Методика – машинное обучение</p> <p>Алгоритм – обучение нескольких моделей на основе свёрточных нейронных сетей, тестирование моделей, обсуждение результатов</p>
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	<p>Федеральный закон № 426-ФЗ от 28 декабря 2013 года «О специальной оценке условий труда»</p> <p>Федеральный закон № 123-ФЗ от 22.07.2008 г (ред. от 10.07 2012 г.) «Технический регламент о требованиях к пожарной безопасности»</p> <p>Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 27.12.2018)</p> <p>ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.</p>
2. Производственная безопасность:	<p>Повышенный уровень шума.</p> <p>Отклонение параметров микроклимата.</p> <p>Оборудование с повышенной или пониженной температурой поверхности, токоведущие части электрооборудования, повышенное значение напряжения в электрической цепи, возникновение пожара.</p>
3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	<p>При разработке и эксплуатации проектируемого решения возможны различные ЧС</p>

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	01.07.2020
--	------------

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Белозеров В.Б.	д.г.-м.н.		01.07.2020г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ81	Бурдин Алексей Валерьевич		01.07.2020г.

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

Школа Инженерная школа природных ресурсов
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 Нефтегазовое дело
 Уровень образования Магистратура
 Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

Магистерская диссертация

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Срок сдачи студентом выполненной работы:	14.08.2020
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
01.07.2020	Литературный обзор	25
15.07.2020	Анализ рынка	25
05.08.2020	Экспериментальная часть	25
14.08.2020	Составление отчёта	25

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Чернова О.С.	Д.Г.-М.Н.		01.07.2020г.

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Чернова О.С.	Д.Г.-М.Н.		01.07.2020г.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ГИС – геофизические исследования скважин

ГК – гамма-каротаж

ПС – каротаж самопроизвольной поляризации

ГРП – гидравлический разрыв пласта

КИН – коэффициент извлечения нефти

ML – Machine Learning, машинное обучение

IT – Information technologies, информационные технологии

AI – Artificial Intelligence, искусственный интеллект

ПЭВМ – персональная электронно-вычислительная машина

ПДУ – предельно допустимый уровень

ОГЛАВЛЕНИЕ

РЕФЕРАТ	16
ВВЕДЕНИЕ.....	17
1 Определение обстановок осадконакопления по каротажным данным	18
1.1 Типовые кривые каротажа ГК	19
1.2 Ограничения каротажа естественной радиоактивности	24
1.3 Влияние обстановок осадконакопления на разработку месторождений ..	26
1.4 Применение машинного обучения в нефтегазовой отрасли	30
1.5 Основные принципы машинного обучения	32
1.5.1 Свёрточные нейронные сети.....	35
1.5.1.1 «Inception»	42
1.5.1.2 «ResNet»	42
1.5.1.3 «Mobilenet»	43
1.5.2 Перенос обучения.....	44
2. Создание моделей для определения обстановок осадконакопления.....	46
2.1 Подготовка данных	46
2.2 Обучение моделей.....	50
2.3 Тестирование моделей	51
2.4 Обсуждение результатов	55
2.5 Влияние изменения размеров изображения на результат.....	58
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение..	59
3.1 Потенциальные потребители результатов исследования	59
3.2 Диаграмма Исикавы.....	59
3.3 SWOT-анализ.....	60
3.4 Готовность проекта к коммерциализации	61
3.5 Коммерциализация результатов исследования.....	64
3.6 Инициация проекта	65
3.6.1 Цели и результаты проекта	65
3.6.2 Организационная структура проекта	67
3.6.3 Ограничения и допущения проекта.....	67

3.7 Планирование управления научно-техническим проектом.....	68
3.7.1 Иерархическая структура работ проекта.....	68
3.7.2 Контрольные события проекта.....	68
3.7.3 План проекта.....	69
3.7.3.1 Проход по сети в прямом направлении.....	75
3.7.3.2 Проход по сети в обратном направлении.....	75
3.7.3.3 Расчет резервов и времени работы.....	76
3.7.4 Бюджет научного исследования.....	77
3.8 Организационная структура проекта.....	81
3.9 Матрица ответственности.....	81
3.10 План управления коммуникациями проекта.....	82
3.11 Реестр рисков проекта.....	83
3.12 Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение».....	83
4.1 Организационные вопросы по компоновке рабочей зоны.....	84
4.2 Производственная безопасность.....	84
4.2.1 Отклонение от показателей микроклимата.....	85
4.2.2 Освещение.....	85
4.2.3 Расчет искусственного освещения.....	86
4.2.4 Повышенный уровень шума.....	88
4.2.5 Электробезопасность.....	89
4.2.6 Пожарная безопасность.....	89
4.3 Безопасность жизнедеятельности.....	90
4.3.1 Чрезвычайные ситуации.....	90
4.3.2 Правила работы с ПЭВМ.....	91
4.4 Заключение по разделу «Социальная ответственность».....	92
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	94
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	95
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	99
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	106

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Код	Результат обучения	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
Общие по направлению подготовки (специальности)		
Р1	<p>Применять естественнонаучные, математические, гуманитарные, экономические, инженерные, технические и глубокие профессиональные знания в области современных нефтегазовых технологий для решения прикладных междисциплинарных задач и инженерных проблем, соответствующих профилю подготовки</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-3, УК-4; УК-5; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам), (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)</p>
Р2	<p>Планировать и проводить аналитические и экспериментальные исследования с использованием новейших достижений науки и техники, уметь критически оценивать результаты и делать выводы, полученные в сложных и неопределённых условиях; использовать принципы изобретательства, правовые основы в области интеллектуальной собственности</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-4; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам), (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)</p>
Р3	<p>Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-4; УК-5; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...),</p>

	<p>учетом передового отечественного и зарубежного опыта; использовать инновационный подход при разработке новых идей и методов проектирования объектов нефтегазового комплекса для решения инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства</p>	<p>согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)</p>
P4	<p>Выбирать оптимальные решения в многофакторных ситуациях, владеть методами и средствами технического моделирования производственных процессов и объектов нефтегазовой отрасли; управлять технологическими процессами, обслуживать оборудование, использовать любой имеющийся арсенал технических средств, обеспечивать высокую эффективность при разработке нефтегазовых объектов</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ПК-1; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-20), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)</p>
P5	<p>Самостоятельно учиться и непрерывно повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности; активно владеть иностранным языком на уровне, позволяющем работать в интернациональной среде, разрабатывать документацию и защищать результаты инженерной деятельности</p>	<p>Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-3; УК-4; УК-5; УК-6; ОПК-2; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-5; ПК-1; ПК-2; ПК-8; ПК-16; ПК-18; ПК-21; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата)</p>

		конденсата), (19.021 Специалист по промышленной геологии)
P6	Работать эффективно в качестве члена и руководителя команды, умение формировать задания и оперативные планы всех видов деятельности, распределять обязанности членов команды, нести ответственность за результаты работы; координировать работу групп по извлечению и совершенствованию добычи нефти, газа и газового конденсата, передавать знания через наставничество и консультирование	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-3; УК-4; УК-5; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-15; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промышленной геологии)
P7	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать современные машины и механизмы для реализации технологических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промышленной геологии)
Профиль 2. – Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений		
P11	Контролировать выполнение требований регламентов для обеспечения добычи нефти, газа и газового конденсата	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-4; ОПК-1; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-5; ПК-6; ПК-12; ПК-15; ПК-16; ПК-18; ПК-19; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению

		промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)
P12	Совершенствовать, разрабатывать мероприятия и/или подготавливать бизнес-предложения по технологическому процессу и технологическим мероприятиям при добыче нефти, газа и газового конденсата	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ(УК-1; УК-2; УК-3; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)
P13	Корректировать программы работ по добыче нефти, газа и газового конденсата, выбирать и принимать решения в нестандартных ситуациях, опираясь на государственные стандарты в области нефтегазодобычи	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-2; УК-3; УК-4; УК-6; ОПК-1;ОПК-2; ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа состоит из 117 страниц, 48 рисунков, 22 таблиц, 49 источников, 2 приложений.

Ключевые слова: обстановки осадконакопления, электрофациальный анализ, машинное обучение, нейронные сети.

Объектом исследования является определение обстановок осадконакопления по каротажу естественной радиоактивности с использованием алгоритмов машинного обучения.

Целью дипломной работы является исследование возможности создания программного продукта, основной функцией которого является определение обстановок осадконакопления по каротажу естественной радиоактивности.

Исследована возможность применения свёрточных нейронных сетей для определения обстановок осадконакопления по каротажу естественной радиоактивности. Исследование проводилось с использованием синтетических кривых каротажа ГК.

В результате исследования опытным путём была определена наиболее подходящая архитектура свёрточных нейронных сетей для решения задачи определения обстановок осадконакопления по каротажным данным. Полученная модель способна на хорошем уровне определять обстановки осадконакопления на синтетических кривых каротажа ГК. Для улучшения результата требуется сформировать большой объём подготовленных данных, основанных на реальных кривых каротажа ГК.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Определение обстановок осадконакопления принципиально важно для разработки месторождения, т.к. именно обстановка осадконакопления определяет эффективную расстановку скважин, их тип и необходимость проведения гидравлического разрыва пласта (ГРП). Современная нефтегазовая отрасль в условиях вынужденного перехода на разработку трудноизвлекаемых запасов (ТРИЗ) стремится идти по пути уменьшения затрат. В ситуации, когда стоимости отбора керна и проведения геофизических исследований скважин (ГИС) различаются на порядок, при этом по данным ГИС так же, как и по керновым данным, можно определять литофации и обстановки осадконакопления, привлекательность определения обстановок осадконакопления по каротажным данным очевидна. Кроме того, за последнее время в нефтегазовых компаниях наметился тренд на цифровизацию ключевых процессов, в связи с этим появилась идея создания инструмента, основанного на принципах машинного обучения, который способен определять обстановки осадконакопления по каротажным данным.

Объектом исследования является определение обстановок осадконакопления по каротажу естественной радиоактивности с использованием алгоритмов машинного обучения.

Целью работы является исследование возможности создания программного продукта, основной функцией которого является определение обстановок осадконакопления по каротажу естественной радиоактивности.

Задачи:

- провести литературный обзор по данной тематике;
- сформировать обучающую выборку данных;
- провести обучение нескольких моделей;
- произвести тестирование моделей;
- предложить варианты улучшения полученного результата;
- сделать заключение о жизнеспособности исследуемого подхода.

1 Определение обстановок осадконакопления по каротажным данным

Электрофациальный анализ – выделение геологических фаций на основе определённых форм каротажных кривых.

Возникновение и развитие электрофациального анализа связано с ограниченностью керновых данных при геологическом описании месторождения.

Одним из первых авторов, кто описал основные принципы электрофациального анализа, является В.С. Муромцев. В своей работе [20] В.С. Муромцев разделил терригенные фации на континентальные (флювиальные, эоловые и т.д.) и морские (фации открытого моря, пляжевые и т.д.) и привёл для каждой группы свои типовые кривые. Однако, исследования В.С. Муромцева были основаны только на использовании каротажа самопроизвольной поляризации (ПС), который регистрирует изменение размерности зерна по разрезу. На сегодняшний же день, для определения фаций по каротажным данным используется так же каротаж естественной радиоактивности (ГК), который в первую очередь регистрирует изменение минерального состава (увеличение/уменьшение количества радиоактивных минералов – урана U, тория Th и калия K) горной породы. Однако, существуют работы, например, [46], в которых утверждается, что между радиоактивностью горной породы и размерностью зерна существует обратная зависимость (чем больше радиоактивность, тем меньше размер зерна, и наоборот). Таким образом, с некоторой долей допущения можно судить по кривой каротажа ГК о размерности зерна и энергичности обстановки осадконакопления [47], как и в случае анализа кривой каротажа ПС.

Следует отметить, что для достоверного определения обстановок осадконакопления недостаточно использовать только каротаж ПС или ГК. Необходимо использовать целый комплекс геофизических исследований скважин (ГИС), который включает в себя и ПС, и ГК, а также методы

пористости (гамма-гамма плотностной, акустический и нейтронный каротажи) и сопротивления (потенциал, градиент зонды и т.д.). Однако, для упрощения задачи в рамках данной работы предполагается определение обстановок осадконакопления только по каротажу ГК.

1.1 Типовые кривые каротажа ГК

По схожести с В.С. Муромцевым принципу, только для каротажа ГК, Р. Селли в своей работе [47] описал типовые кривые, соответствующие определённым обстановкам осадконакопления. Р. Селли выделил континентальные, дельтовые, прибрежно-морских и глубоководно-морские фации.

Описывая континентальные фации, Р. Селли приводит пример многорукавных (англ. Braided river) и меандрирующих рек. Русло многорукавной реки обладает высокой энергичностью системы, что выражается в преобладании крупнозернистого осадка в разрезе и низкой глинистости [47]. По всему разрезу кривая ГК, соответствующая руслу многорукавной реки, находится в области низких значений ГК, за исключением моментов, когда происходит «отчуждение» русла, что способствует накоплению глинистого материала (отклонение кривой ГК в сторону больших значений). Типичная форма кривой ГК для русла многорукавной реки представлена на Рисунке 1.1.

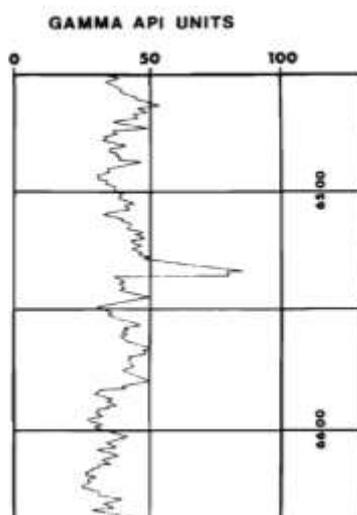


Рисунок 1.1 – Типовая форма кривой ГК для русла многорукавной реки [47]

Для прирусловых баров меандрирующих рек характерно преобладание крупных осадков в нижней части с постепенным уменьшением размера зерна вверх по разрезу [47]. Рост прируслового бара осуществляется в боковом направлении в результате волочения крупного осадка по дну русла реки, в то время как более мелкий осадок переносится во взвешенном состоянии на меньшей глубине реки. Типичная форма кривой ГК для прируслового бара меандрирующей реки представлена на Рисунке 1.2.

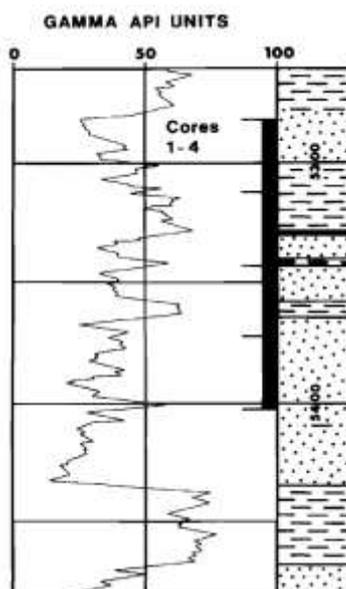


Рисунок 1.2 – Типовая форма кривой ГК для прируслового бара [47]

Описывая дельтовые фации, Р. Селли приводит пример флювиальной и приливно-отливной дельт. Для распределительного канала флювиальной

дельты характерны горизонтальные границы верхней и нижней части аномалии, а боковая линия имеет форму практически ровной вертикальной линии, что связано с постоянством энергичности среды на протяжении всего периода формирования песчаного тела [47]. Типичная форма кривой ГК для распределительного канала флювиальной дельты представлена на Рисунке 1.3.

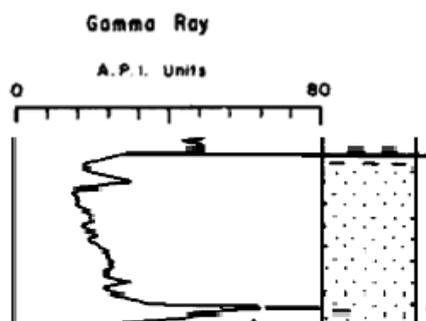


Рисунок 1.3 – Типовая форма кривой ГК для распределительного канала [47]

Для дельтовой равнины флювиальной дельты характерно циклическое чередование глинистых отложений и песчаника, что связано с периодическим затоплением дельтовой равнины в результате выхода потока воды за пределы распределительного канала [47]. Типичная форма кривой ГК для дельтовой равнины флювиальной дельты представлена на Рисунке 1.4.

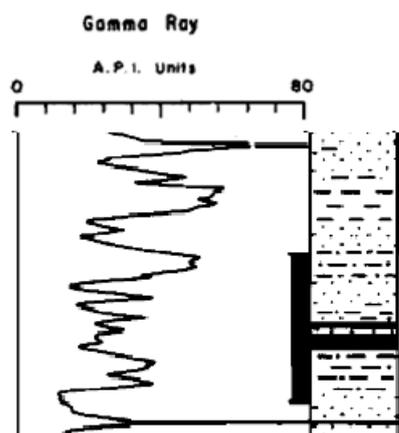


Рисунок 1.4 – Типовая форма кривой ГК для дельтовой равнины [47]

Описывая прибрежно-морские фации, Р. Селии приводит пример берегового вала. Наибольший вклад в формирование берегового вала вносит регрессия моря при условии достаточного количества осадков, однако, при трансгрессии так же может наблюдаться рост берегового вала [47]. По форме

типовой кривой берегового вала можно заметить, что энергичность среды к концу формирования берегового вала достигает максимума. Типичная форма кривой ГК для берегового вала представлена на Рисунке 1.5.

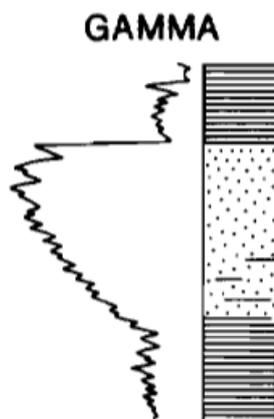


Рисунок 1.5 – Типовая форма кривой ГК для берегового вала [47]

Описывая глубоководно-морские фации, Р. Селли приводит пример канала глубоководного конуса выноса. Конус выноса в целом имеет плохую сортировку материала, однако, для канала характерен тренд уменьшения размерности зерна вверх по разрезу [47]. Типичная форма кривой ГК для канала глубоководного конуса выноса представлена на Рисунке 1.6.

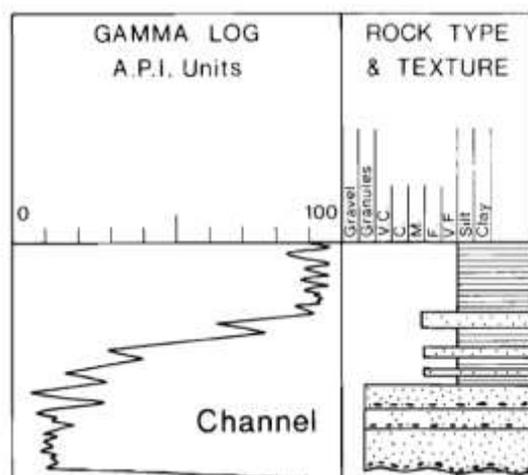


Рисунок 1.6 – Типовая форма кривой ГК для канала конуса выноса [47]

Д. Кэнт в своей работе [34] выделяет 5 типовых форм кривой каротажа ГК: цилиндрическая, воронкообразная, колоколовидная, симметричная, нерегулярная. Типичные формы кривой ГК, который выделял Д. Кэнт представлены на Рисунке 1.7.

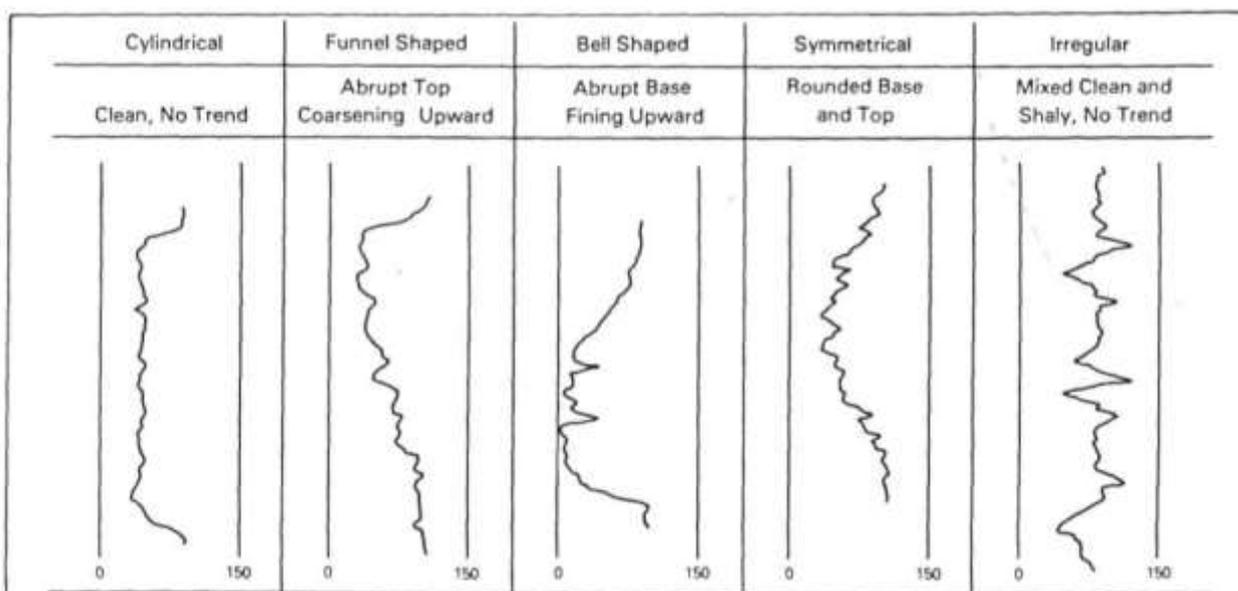


Рисунок 1.7 – Типовые формы кривой ГК [34]

Выделенные Д. Кэнтон формы кривой ГК более детально описаны в работе [26]. Так, для цилиндрической формы характерен длительный период устойчивого накопления осадков, что отражается в вертикально прямой боковой линии и горизонтальных верхней и нижней прямых. Цилиндрическую форму на каротаже ГК имеют эоловая обстановка, многорукавная река, риф [26].

Воронкообразная форма кривой ГК отражает факт того, что вверх по разрезу происходит уменьшение глинистых осадков и увеличение размерности зерна. Наиболее благоприятными условиями для формирования воронкообразной формы кривой ГК являются устьевой бар, барьерный остров, пески разливов [26].

Колоколовидная форма кривой ГК отражается факт того, что вверх по разрезу происходит увеличение глинистых осадков и уменьшение размерности зерна. Наиболее благоприятными условиями для формирования колоколовидной формы кривой ГК являются прирусловой бар, канал глубоководного конуса выноса [26].

Симметричная форма кривой ГК отражается факт того, что постепенное уменьшение глинистых осадков и увеличение размерности зерна сменилось на увеличение глинистых осадков и уменьшение размерности зерна вверх по

разрезу. Наиболее благоприятными условиями для формирования симметричной формы кривой ГК являются трансгрессивный бар, шельфовые фации [26].

Нерегулярная форма кривой ГК отражает факт множественного переслаивания различного типа горных пород. Наиболее благоприятными условиями для формирования нерегулярной формы кривой ГК являются пойменная равнина и некоторые карбонатные фации [26].

1.2 Ограничения каротажа естественной радиоактивности

В данной работе рассматривается определение обстановок осадконакопления по каротажу ГК. Каротаж ГК был выбран вместо каротажа ПС, в связи с тем, что каротаж ПС менее надёжный в ситуациях, когда применяется солёный буровой раствор или раствор на основе полимеров. Однако, каротаж ГК так же имеет некоторые ограничения.

Прежде всего, региональные аномалии высокой радиоактивности могут существенным образом повлиять на форму кривой ГК. Например, форма кривой ГК в области Баженовской свиты будет выглядеть как прямая линия, как показано на Рисунке 1.8. В данном примере одним из способов решения подобной проблемы может быть ограничения значений Баженовской свиты по значению обычных глин в рассматриваемом разрезе.

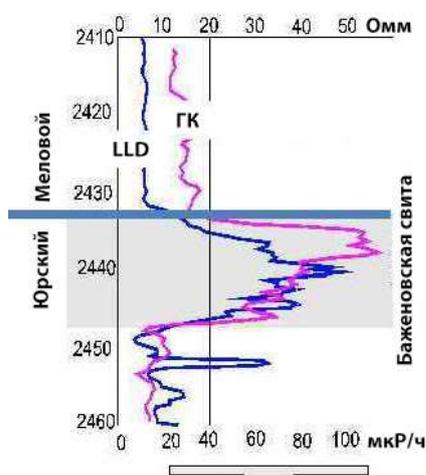


Рисунок 1.8 – Баженовская свита на каротаже ГК

Кроме того, на значение каротажа ГК оказывает влияние мощность пласта: чем меньше мощность пласта, тем меньше значение каротажа ГК, что продемонстрировано на Рисунке 1.9.

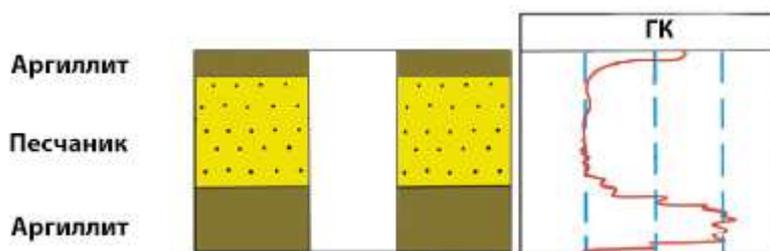


Рисунок 1.9 – Влияние мощности пласта на показания ГК

Также, если в разрезе присутствуют каверны, значение каротажа ГК будет занижено, что показано на Рисунке 1.10.

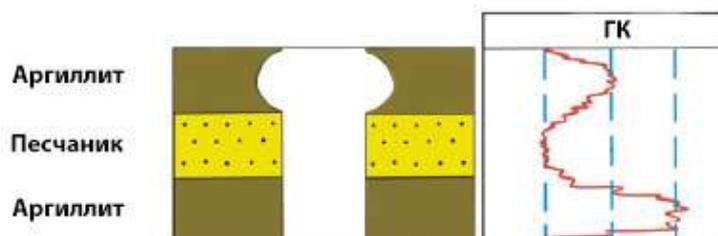


Рисунок 1.10 – Влияние кавернозности на показания ГК

Помимо всего прочего, значение каротажа ГК зависит от минерального состава. Например, если в рассматриваемом песчанике много радиоактивных минералов (уран, торий, калий), значение каротажа ГК напротив такого песчаника будет завышено по сравнению с песчаником, в котором содержание радиоактивных минералов меньше, что продемонстрировано на Рисунке 1.11.

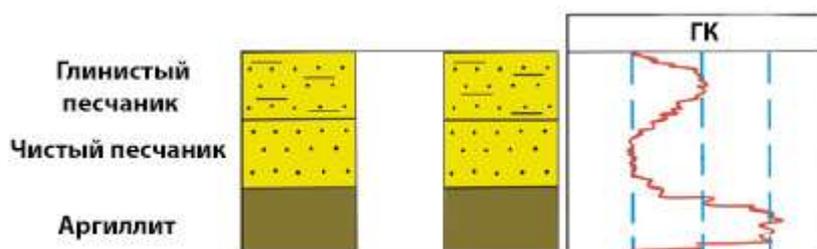


Рисунок 1.11 – Влияние минерального состава на показания ГК

1.3 Влияние обстановок осадконакопления на разработку месторождений

Влияние особенностей обстановок осадконакопления на разработку месторождения является чрезвычайно важным. Зная то, в каких условиях конкретное месторождение было сформировано, а также то, какие основные свойства присущи данной обстановке осадконакопления, разработка месторождения может быть спланирована качественно на более высоком уровне, что позволит достичь лучших результатов (большой КИН при меньших финансовых затратах) по сравнению с подходами разработки, не учитывающими в должной мере особенности обстановок осадконакопления.

В работе [14] упоминаются 3 основных типа неоднородности коллектора, которые влияют на его разработку.

Первый тип неоднородности – фациальная неоднородность. Фациальная неоднородность предполагает, что коллектор сложен несколькими фациями, сменяющимися друг друга вдоль латерального направления, между которыми могут присутствовать непроницаемые пропластки аргиллитов или карбонатизированных песчаников [22]. Такой тип неоднородности характерен для обстановок, в которых происходит боковое наращивание песчаного тела, например, бар дальней зоны, в пределах которого присутствует большое количество обломков раковин, что затем приводит к карбонатизации песчаника на стадии диагенеза [15]. Влияние первого типа неоднородности на разработку связано с гидродинамической разобщенностью между зонами разновозрастных песчаных тел. В такой ситуации передача давления закачки от нагнетательных скважин к добывающим затруднено. Возможным решением подобной проблемы является формирование трещины ГРП до ввода скважин в эксплуатацию и бурение горизонтальных скважин вкрест простирания экранирующих пород.

Второй тип неоднородности – изменение гранулометрического состава по разрезу пласта, связанное с обстановкой формирования коллектора. На

каротажах ПС и ГК воронкообразные и колоколовидные формы кривых (прибрежно-морской песчаник, бар, русловой вал) соответствуют значительному изменению размера зерна, и следовательно, пористости и проницаемости. Второй тип неоднородности влияет на интервал притока углеводородов и охвата залежи по разрезу в процессе её разработки. Кроме того, изменение гранулометрического состава по разрезу влияет на характер заводнения. Например, в случае заводнения прируслового бара вода будет двигаться преимущественно по нижней части коллектора, как показано на Рисунке 1.12.

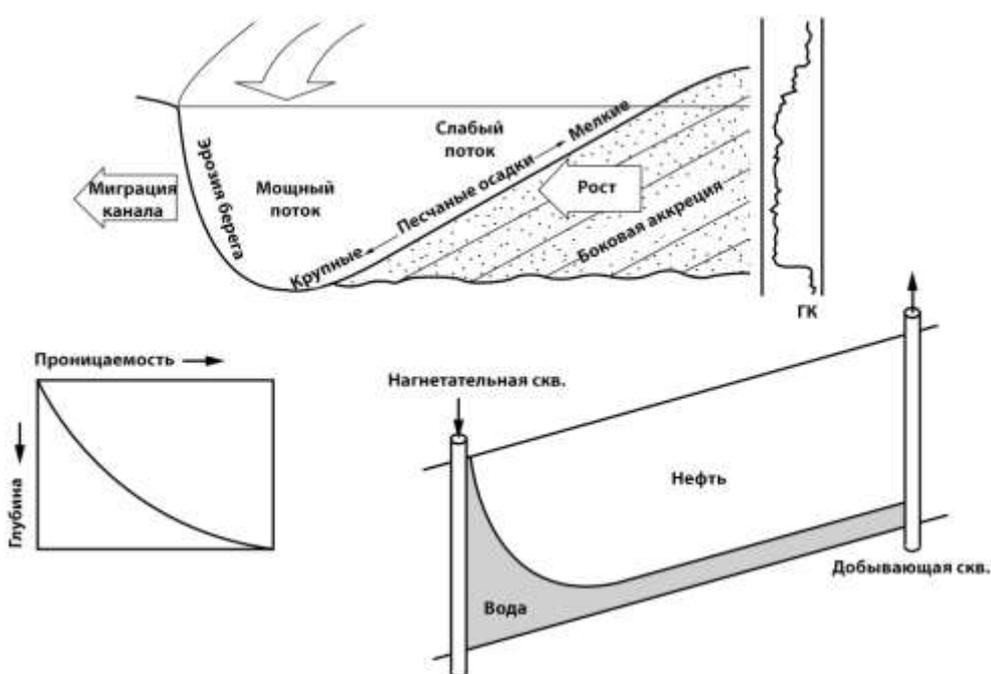


Рисунок 1.12 – Профиль заводнения аллювиального коллектора

Фронт воды, дойдя от нагнетательной скважины до добывающей, создаст «канал», по которому вода будет перекачиваться из одной скважины в другую, игнорируя лежащие выше запасы нефти. Это объясняется тем, что нижняя часть прируслового бара сложена зёрнами большего размера, чем верхняя, и соответственно, проницаемость в нижней части коллектора больше. Для стабилизации фронта вытеснения в данном примере необходимо создавать перфорации в нагнетательной скважине напротив верхней части коллектора, чтобы вода, продвигаясь по низкопроницаемой верхней части

коллектора со временем опускалась в нижнюю часть пласта под действием гравитационной силы, формируя поршневое вытеснение. Кроме того, очевидно, что, даже используя такой подход, будут оставаться значительные запасы невытесненной нефти в верхней части коллектора. Чтобы доизвлечь такие запасы нефти в верхней низкопроницаемой части коллектора, может применяться закачка несмешивающегося газа.

Противоположная ситуация наблюдается при заводнении прибрежно-морского песчаника, для которого характерно уменьшение размера зерна и проницаемости с глубиной, что приводит к преимущественному движению воды от нагнетательной скважины к добывающей по верхней части коллектора, как показано на Рисунке 1.13. В данном примере необходимо осуществлять перфорацию нагнетательной скважины исключительно в нижней части коллектора. Данный подход поможет получить более стабильный фронт вытеснения и больший КИН.

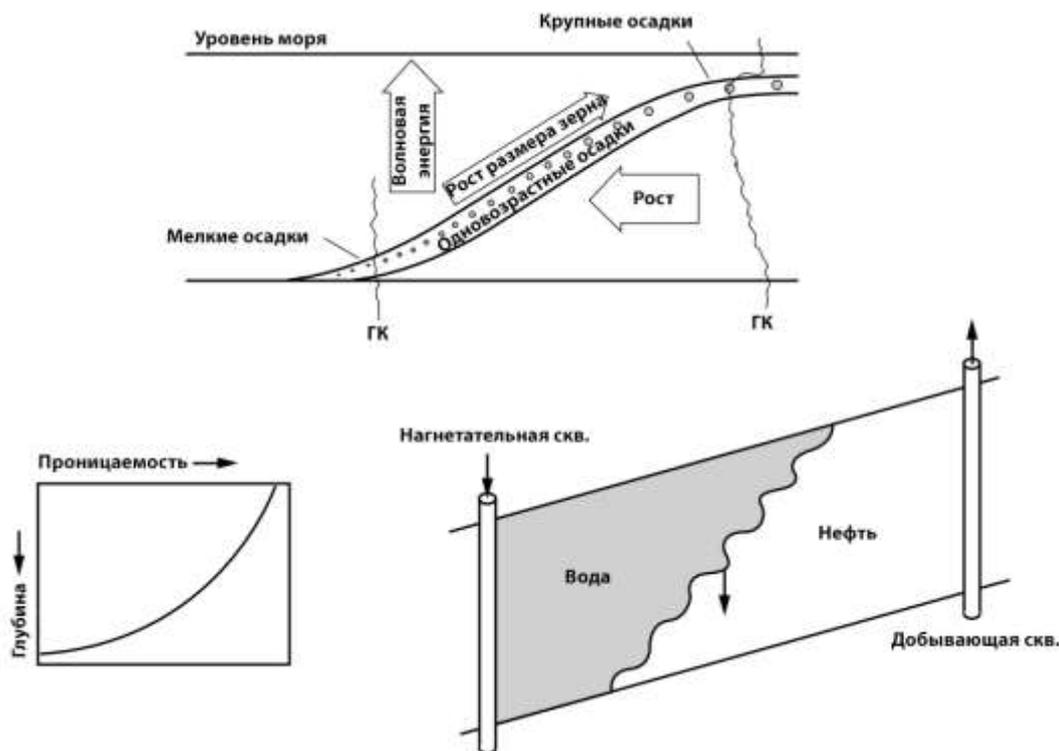


Рисунок 1.13 – Профиль заводнения морского коллектора

Третий тип неоднородности – слоистая неоднородность. Слоистая неоднородной контролирует анизотропию фильтрации коллектора при разработке. Всё многообразие видов слоистости, каждая из которых соответствует определённой обстановке осадконакопления, можно разделить на упорядоченную и хаотичную слоистости. Первая включает в себя такие виды, как, например, волновая рябь и рябь течения. Вторая же включает в себя такие, как, например, луноподобная, волнистая или лингоидная рябь [16]. Прослои упорядоченной слоистости можно охарактеризовать как выдержанные по латерали. В случае хаотичной слоистости выдержанность прослоев в каком-либо направлении отсутствует. В связи с этим, в коллекторах с упорядоченной слоистостью движение углеводородов будет происходить преимущественно вдоль простирания слоистости, нежели поперёк, в то время как в коллекторе с хаотичной слоистостью фильтрация углеводородов во всех направлениях будет одинакова. Однако, как показывает практика, среднегодовая накопленная добыча в песчаниках (при равных kh) с упорядоченной слоистостью выше, чем в песчаника с хаотичной слоистостью. Это связано с тем, что в песчаниках с упорядоченной слоистостью передача давления от нагнетательных скважин к добывающим более эффективна, что приводит к постоянному притоку углеводородов из дальней части коллектора вдоль простирания прослоев. Для разработки коллекторов с упорядоченной слоистостью предпочтительно ориентировать добывающие и нагнетательные скважины таким образом, чтобы направление фронта закачиваемой воды учитывало направление простирания слоистости песчаника – если фронт вытеснения будет двигаться по простиранию слоистости, более проницаемые прослои промоются раньше, что приведёт к формированию остаточных запасов нефти, но если фронт вытеснения будет двигаться по падению, нефть равномерно будет вытесняться как из высоко-, так и низкопроницаемых прослоев. В случае коллекторов с хаотичной слоистостью продвижение воды от нагнетательных скважин к добывающим затруднено, в связи с чем добывающие скважины вовлекают в работу только призабойную зону

коллектора. Применение ГРП до введения скважины в эксплуатацию создаёт высокопроводящий канал, который позволяет вовлечь в разработку неотработанные участки коллектора с хаотичной слоистостью.

Те или иные неоднородности коллектора являются следствием того, в какой обстановке осадконакопления он формировался. Таким образом, зная, в какой обстановке осадконакопления формировался коллектор, можно предполагать, какие типы неоднородности будут присущи данному коллектору. При учёте всех особенностей обстановок осадконакопления эффективность разработки залежей нефти повышается.

1.4 Применение машинного обучения в нефтегазовой отрасли

Используя крупные базы данных, такие как Onepetro, Heriot-Watt Discovery и Google Scholar, было найдено 13 статей, которые тесно связаны с темой текущей ВКР.

Выяснилось, что в большинстве найденных статей (10 из 13) рассматривается проблема определения литофаций по каротажным данным, используя алгоритмы машинного обучения. И только в 3 из 13 рассматривается определение именно обстановок осадконакопления по каротажным кривым. В связи с этим можно заключить, что тема данной ВКР (определение обстановок осадконакопления по каротажным данным) является менее изученной, чем определение литофаций по каротажным кривым. Также этот факт может говорить о том, что в данной области науки определение фаций по каротажным кривым является более актуальной темой.

В работе [48] описана модель, построенная на основе логистической регрессии (англ. Logistic Regression). Согласно результатам данной работы, большое число ключевых параметров классификации приводит к низкой точности классификации. Максимально достигнутая точность модели составила 70 %. Более того, в этой работе описана модель, построенная на деревьях принятия решений (англ. Decision Trees) и регрессивных деревьях

(англ. Regression Trees). Максимально достигнутая точность такой модели составила 72-74 %. Также была испытана модель на основе случайного леса (англ. Random Forest). Удалось достичь точность модели в 99 %, а также выяснилось, что точность обратно пропорциональна количеству ключевых параметров классификации.

В работе [30] описывается модель на основе случайного леса (англ. Random Forest), состоящего из 100 деревьев. Более того, осуществлялась аугментация дополнительных параметров, сгенерированных из числа уже имеющихся ключевых параметров, с целью повышения точности модели. Максимально достигнутая точности модели составила 77 %.

В работе [39] описывается модель на основе метода опорных векторов (англ. Support Vector Machine), использованная для определения литофаций на каротажных кривых. Точность модели составила 46 %, однако, стоит отметить простоту реализации алгоритма.

В работе [40] так же использовалась модель на основе метода опорных векторов (англ. Support Vector Machine). Кроме того, рассматривались модели на основе ансамблевых методов (англ. Ensembles) и глубоких нейронных сетей (англ. Deep Neural Networks). Максимально достигнутая точность составила 63 % при использовании глубоких нейронных сетей.

В работе [36] удалось достигнуть точности в 78 % при определении литофаций по каротажным кривым, используя модель на основе К-ближайших соседей (англ. K-Near Neighbours) и нечёткой логики (англ. Fuzzy Logic).

В работе [45] использовались нейронные сети. Максимально достигнутая точность модели составила 93 %. Также в работе [45] использовался наивный Байес (англ. Naive Bayes), который позволил определить карбонатные фации с точность в 68 %.

В работе [37] использовался алгоритм распространения меток (англ. Label Propagation algorithm) для определения литофаций по каротажным данным. Однако, точность модели не сообщается.

В работе [38] использовалась Гауссовская модель смеси (англ. Gaussian Mixture Model) для решения задачи кластеризации. Максимально достигнутая точность модели составила 85 %.

Другой тип задач, связанный с темой данной ВКР – корреляция кровли и подошвы пласта по каротажным данным, записанным в нескольких скважинах. В работе [44] описываются свёрточные нейронные сети (англ. Convolutional Neural Networks) с использованием переноса обучения (англ. Transfer Learning). Максимально достигнутая точность модели составила 92 %.

В работе [32] Так же описываются свёрточные нейронные сети, точность которых составила 90 %.

В работе [29] описывается сегментирование геологического разреза по признаку «коллектор/неколлектор» с использованием глубоких нейронных сетей. Максимально достигнутая точность составила 94 %.

В работе [42] исследовалась возможность исследования порового пространства по изображениям шлифов, используя метод опорных векторов, деревья принятия решений и K-ближайших соседей. Наилучший результат показала модель на основе деревьев принятия решений, точность которой составила 80 %.

В работе [49] используется метод опорных векторов для определения обстановок осадконакопления. Точность модели составила 83 %.

В работе [27] используются нейронные сети для определения обстановок осадконакопления, однако, точность представленной модели неизвестна.

1.5 Основные принципы машинного обучения

Данной работа содержит большое количество специальных терминов из ИТ (англ. Information Technologies, информационные технологии) индустрии, поэтому перед тем, как перейти к основной части данной работы, необходимо описать базовые принципы машинного обучения (англ. Machine Learning). В

частности, большое внимание будет уделено алгоритмам, использованным в данной работе.

В IT индустрии существует два принципиально отличающихся подхода решения задач (Рисунок 1.14):

1. традиционное программирование – такой подход предполагает наличие входных данных, под которые пишется определённая программа, позволяющая получить необходимые выходные данные;

2. машинное обучение – в случае, если известны входные и выходные данные, но неочевидно каким образом получить одно из другого, компьютер может сам определить зависимость между данными, которая затем также может быть использована в традиционном программировании.



Рисунок 1.14 – Традиционное программирование и машинное обучение

В широком понимании, машинное обучение – часть науки об искусственном интеллекте (англ. Artificial Intelligence, AI), включающая автоматизированный анализ данных, способствующий созданию и улучшению различных систем без использования прямых инструкций. Ключевой является идея о том, что компьютер способен обучаться самостоятельно на качественно обработанных данных без какого-либо вмешательства со стороны программиста.

Существует множество алгоритмов машинного обучения, число которых с каждым днём постоянно растёт. Однако существуют такие

алгоритмы, которые являются более популярными в связи с тем, что они показывают более качественные результаты [33]. Таковыми являются нейронные сети, деревья принятия решений, Байесовские методы и другие.

Качество (валидность) обученной модели может быть оценено с помощью:

1. тестирования на обучающей выборке (набор данных, используемых для тренировки модели под конкретную целевую функцию) – в связи с тем, что модель обучалась на тех же данных, результат тестирования будет весьма хорошим, даже если способность модели обучаться очень низкая, поэтому этот способ тестирования не является достоверным в большинстве случаев;

2. тестирования на отложенной выборке (часть данных, с которыми модель не взаимодействовала в процессе своего обучения) – результат зависит от соотношения объёмов обучающей и отложенной выборок (обычно 70/30 % соответственно);

3. использования кросс-валидации (разделение массива данных на N равных частей и использование каждой поочередно в качестве валидационного набора) – результат зависит от количества частей, на которое валидационный набор был разбит (обычно делят на 5-10 равных частей), при этом чем больше частей, тем больше времени требуется модели на их обработку.

Процесс машинного обучения можно разделить на 5 этапов:

1. выявление проблемы – данный пункт является ключевым, потому что правильно определённая проблема может помочь ответить на вопрос, необходимо ли использовать машинное обучение, либо функционала традиционного программирования будет вполне достаточно;

2. подготовка данных – данные должны быть качественно подготовлены, что обеспечит достижение наилучшего результата. Например, если необходимо научить модель определять объекты на изображении, предварительно такие объекты должны быть выделены вручную на изображениях из обучающей выборки;

3. выбор алгоритма – следует выбирать алгоритм, который наилучшим образом подходит под решение конкретной задачи;

4. улучшение результата – существует несколько способов улучшения результата, например, тюнинг (англ. Tuning – модель может быть представлена в виде N-размерного гиперкуба, где N эквивалентно числу параметров модели, и основной целью тюнинга является поиск наилучших точек на осях N-размерного гиперкуба), дерегуляция (расширение граничных условий), а также использование ансамблей (объединение несколько моделей в одну);

5. Внедрение – модель считается жизнеспособной только в том случае, если она способна качественно решать реальные задачи.

Можно выделить несколько основных моментов, связанных с машинным обучением:

1. для обучения моделей требуется большой массив данных;

2. следует изолировать часть данных при обучении модели, чтобы не допустить запоминания;

3. тот или иной алгоритм может показывать плохие результаты в связи с низким качеством входных данных;

4. результат, выдаваемый моделью, зависит не только от количества параметров модели;

5. если существует нехватка данных для обучения, обучающая выборка может быть расширена с помощью синтетических данных.

1.5.1 Свёрточные нейронные сети

Свёрточные нейронные сети (англ. Convolutions Neural Networks, CNN) – архитектура нейронных сетей, которая способна выделять ключевые особенности объектов на изображении. Свёрточные нейронные сети используются для распознавания объектов и образов, а также для определения, в какой именно части изображения находится конкретный объект. Так же, как

и классические нейронные сети, свёрточные нейронные сети построены по концептуальному примеру из биологии – существуют клетки зрительной коры, которые могут быть возбуждены определёнными геометрическими образами. Свёрточные нейронные сети получили своё название в честь операции свёртки (или конволюции), применяемой в данном алгоритме. Эта операция предполагает изменение размеров оригинального изображения и выделение ключевых особенностей объектов.

В отличие от классических нейронных сетей в свёрточных нейронных сетях отсутствуют типичные связи между нейронами и веса. Вместо них используется так называемое ядро свёртки (англ. Kernel). Ядро свёртки представляет собой матрицу, типичные размеры которой от 3x3 до 7x7. Ядро свёртки может быть и прямоугольной формы, однако чаще используются именно квадратные ядра свёртки. То, какие значения содержит то или иное ядро свёртки, зависит от того, какую особенность изображения мы хотим выделить.

Существуют несколько ядер свёртки, которые хорошо известны и часто применяются. Такие ядра и результат их использования изображены на Рисунке 1.15.

<i>Original</i>	<i>Gaussian Blur</i>	<i>Sharpen</i>	<i>Edge Detection</i>
$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$	$\frac{1}{16} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 5 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$
			

Рисунок 1.15 – Примеры ядер свёртки

Ядро свёртки имеет свой центр, однако, центр ядра свёртки не обязательно соответствует центральному элементу матрицы, потому что не у всех матриц можно выделить центральный элемент. Поэтому каждый элемент

ядра свёртки может быть определён как центральный, однако, этот выбор должен быть осторожным, потому что индексация элементов ядра свёртки зависит от положения центрального элемента.

Любая картинка может быть представлена в виде матрицы, состоящей из значений цвета пикселя. Конволюция представляет собой циклическое «скольжение» ядра свёртки по картинке, и на каждой итерации происходит перемножение совмещённых значений картинки и ядра свёртки, а затем их результат суммируется и записывается в новый слой, называемый свёрточным. Свёрточный слой может иметь те же размеры, что ли исходное изображение, однако, если поменять шаг (англ. Stride, число пикселей, на которое перемещается ядро свёртки на каждой итерации) и отступ (англ. Padding, число пикселей, на которое искусственно увеличивается исходное изображение по краям), размер свёрточного слоя будет отличаться от размера исходного изображения. На Рисунке 1.16 наглядно продемонстрирована операция свёртки.

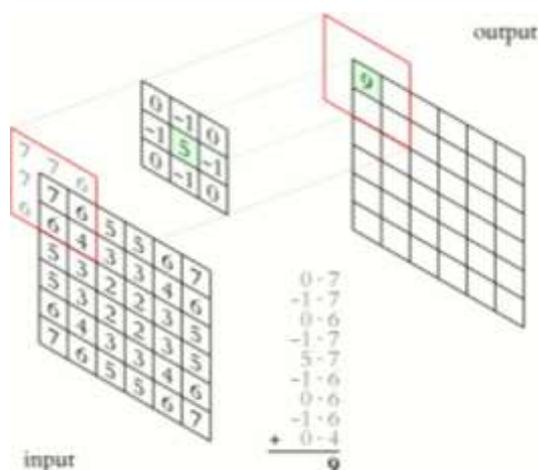


Рисунок 1.16 – Процесс свёртки

Упрощённая схема свёрточной нейронной сети представлена на Рисунке 1.17.

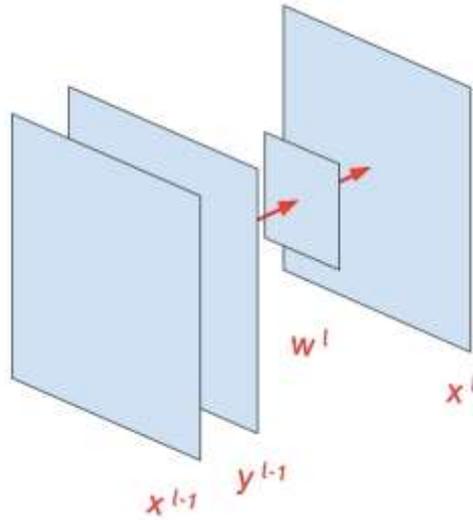


Рисунок 1.17 – Упрощённая схема свёрточной нейронной сети

Формула свёртки (конволюции) в общем виде выглядит следующим образом:

$$x_{ij}^l = \sum_{a=-\infty}^{+\infty} \sum_{b=-\infty}^{+\infty} \omega_{ab}^l \cdot y_{(i-s-a)(j-s-b)}^{l-1} + b^l, \quad \forall i \in (0, \dots, N), \forall j \in (0, \dots, M), \quad (1.1)$$

где i, j, a, b – индексы матричных элементов; s – шаг; $l, l-1$ – индексы свёрточных слоёв; x^{l-1} – исходное изображение или свёрточный слой, полученный на предыдущей итерации; y^{l-1} – слой, прошедший через функцию активации; ω^l – ядро свёртки; b^l – сдвиг (англ. Offset); x^l – результат операции конволюции; (N, M) – размерность результата конволюции.

Знаки «минус» у подстрочных индексов приводят к инверсии ядра свёртки относительно центрального элемента.

Существует другая функция, именуемая кросс-корреляцией (англ. Cross-correlation), которая очень похожа на конволюцию, однако не имеющая знаков «минус» у подстрочных элементов, поэтому инверсия ядра свёртки не наблюдается:

$$x_{ij}^l = \sum_{a=-\infty}^{+\infty} \sum_{b=-\infty}^{+\infty} \omega_{ab}^l \cdot y_{(i-s+a)(j-s+b)}^{l-1} + b^l, \quad \forall i \in (0, \dots, N), \forall j \in (0, \dots, M). \quad (1.2)$$

Выбор между конволюцией и кросс-корреляцией, теми или иными значениями шага и отступа, тем или иным положением центрального элемента ядра свёртки зависит от конкретной ситуации.

Немаловажным является то, как решать проблему «вылета» за границу изображения элементов ядра свёртки, т.к. напротив таких элементов ядра свёртки могут отсутствовать элементы изображения. Существует несколько вариантов решения подобной проблемы: первый вариант предполагает добавление нулевых значений напротив таких вышедших за границу элементов; второй – добавить дополнительные элементы, значения которых равны ближайшим элементам изображения; третий – добавить дополнительные элементы, значения которых равны значениям элементов на противоположной границе изображения, создав своего рода имитацию непрерывности изображения.

Далее результат перемножения и суммирования подаётся на вход функции активации, которая вносит нелинейность в результат. Это процесс отражает тот факт, что результат зависит от числа свёрточных слоёв:

$$y'_i = f(x'_i). \quad (1.3)$$

Если необходимо определить два класса, использование функции «сигмоид» будет вполне достаточно, однако в случае необходимости определения большего числа классов, потребуется использование функции Softmax.

Когда свёрточный слой сформирован, начинается операция пулинга (англ. Pooling). Пулинг – процесс деления свёрточного слоя на блоки определённой размерности (обычно размерность соответствует размерности ядра свёртки), в каждом из которых осуществляется конвертирование нескольких значений в одно посредством выбора наибольшего (Maxpooling) или среднего значения. Другими словами, пулинг используется для уменьшения размерности свёрточного слоя. Процесс пулинга представлен на Рисунке 1.18.

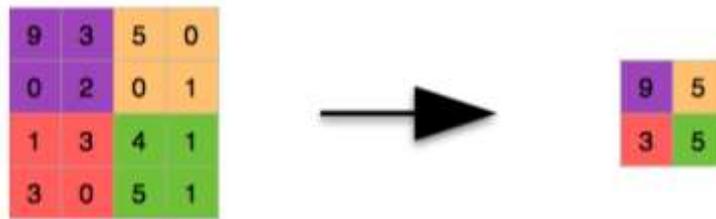


Рисунок 1.18 – Процесс пулинга

Одно ядро свёртки способно определить только одно уникальное свойство объекта на изображении, однако для достижения наилучшего результата этого недостаточно, поэтому приходится использовать множество разных ядер свёртки для того, чтобы охарактеризовать объект на изображении разными способами.

Последний свёрточный слой в свёрточной нейронной сети связан с полносвязным слоем (англ. Fully Connected Layer) нейронов (каждый нейрон полносвязного слоя связан с каждым пикселем свёрточного слоя), так, как показано на Рисунке 1.19.

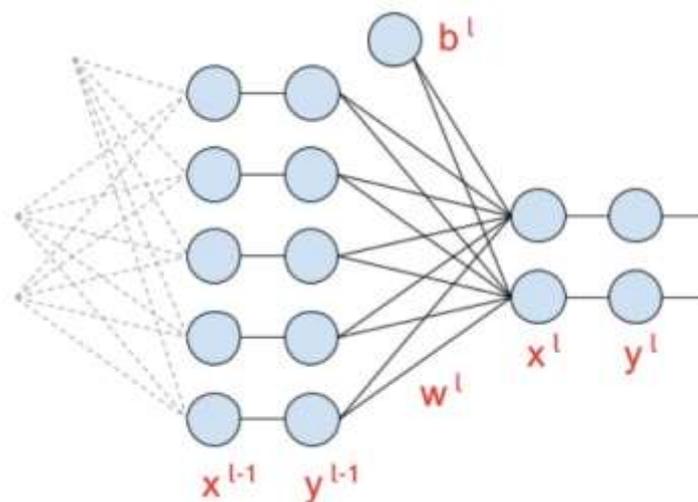


Рисунок 1.19 – Полносвязный слой

Полносвязный слой получает на вход вектор, сгенерированный предыдущими свёрточными слоями.

Формула полносвязного слоя выглядит следующим образом:

$$x_i^l = \sum_{k=0}^m \omega_{ki}^l y_k^{l-1} + b_i^l, \quad \forall i \in (0, \dots, n). \quad (1.4)$$

Это уравнение может быть представлено в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} x_0^l & \dots & x_n^l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_0^{l-1} & \dots & y_n^{l-1} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \omega_{00}^l & \dots & \omega_{0n}^l \\ \dots & \dots & \dots \\ \omega_{m0}^l & \dots & \omega_{mn}^l \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_0^l & \dots & b_n^l \end{bmatrix}. \quad (1.5)$$

На финальной стадии сигнал проходит через функцию ошибки (англ. Loss Function), которая высчитывает ошибку предсказания, сделанного моделью. Значение ошибки интерпретируется как качество обучения и используется для сравнения с другими результатами.

Процесс обучения может быть представлен следующим образом (Рисунок 1.20): на каждой итерации (единичный проход по обучающей выборке) небольшой набор данных берётся из обучающей выборки, и осуществляет проход по всей нейронной сети. Если обучающих выборок несколько, то один проход по каждой из них именуется эпохой (эпоха по отношению к итерации является внешним циклом). Пройдя через всю нейронную сеть, вычисляется ошибка (разница между ожидаемым результатом и тем, который выдала модель). Используя полученную величину ошибки и метод градиентного спуска, осуществляется корректировка весов связей между нейронами до тех пор, пока величина ошибки не достигнет приемлемых значений.

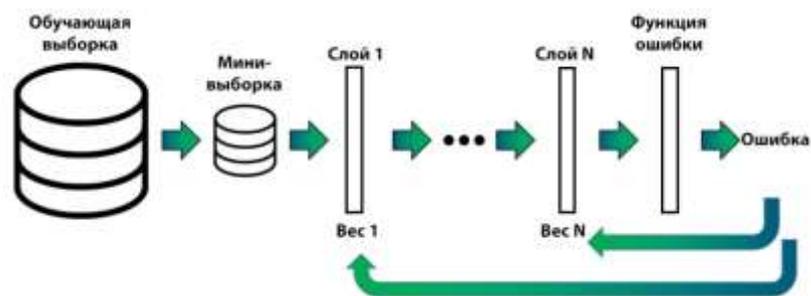


Рисунок 1.20 – Схема обучения нейронной сети

Существует множество архитектур свёрточных нейронных сетей, однако в рамках данной работы будут рассмотрены только наиболее популярные.

1.5.1.1 «Inception»

Схема архитектуры «Inception» [28] представлена на Рисунке 1.21.

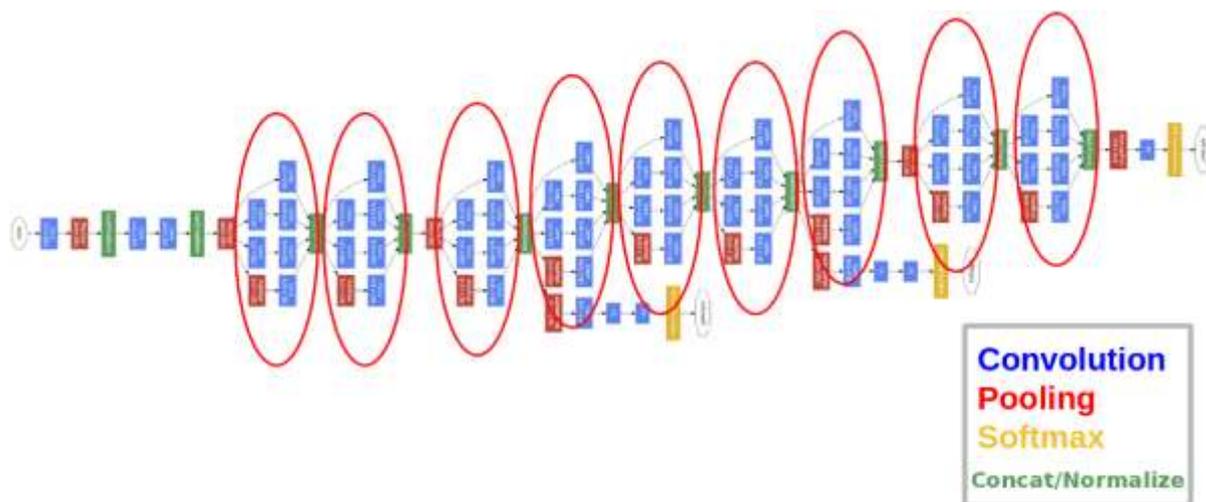


Рисунок 1.21 – Архитектура «Inception» [28]

«Inception» состоит из нескольких схожих блоков. Ключевой особенностью данной архитектуры является оптимизация вычислений с помощью обрабатывания предыдущего свёрточного слоя несколькими свёрточными операциями с использованием нескольких ядер свёртки разной размерности и объединения полученных слоёв в один свёрточный слой. Более того, перед тем, как свёрточный слой обрабатывается ядром свёртки большой размерности (3x3 и выше), происходит его сжатие.

Преимуществом архитектуры «Inception» является её высокая точность, однако, модели, построенные на основе такой архитектуры, требуют большие временные затраты на обучения.

1.5.1.2 «ResNet»

Схема архитектуры «ResNet» [43] представлена на Рисунке 1.22.

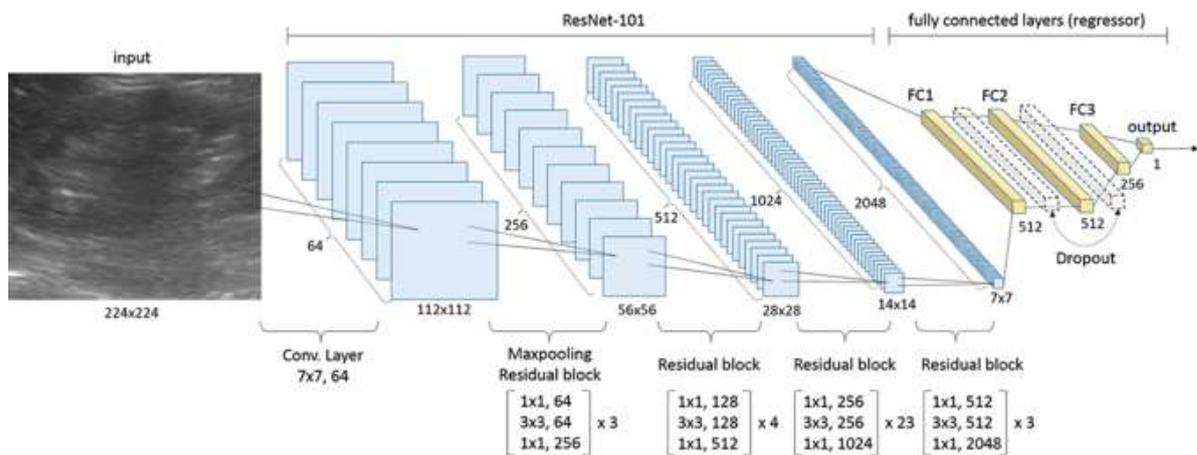


Рисунок 1.22 – Архитектура «ResNet» [43]

Архитектура «ResNet» состоит из так называемых остаточных блоков (англ. Residual Blocks), в каждом из которых присутствуют сокращенные связи (англ. Shortcut Connections): один сигнал, полученный с предыдущего свёрточного слоя, проходит через функцию активации, а другой (такой же сигнал) – проходит напрямую дальше по схеме без взаимодействия с функцией активации. Таким образом, модель обучается запоминать разницу между двумя такими сигналами, а не сами сигналы.

Преимуществом архитектуры «ResNet» является её хорошая точность, однако, требуется затратить больше времени на обучения подобных моделей.

1.5.1.3 «Mobilenet»

Схема архитектуры «Mobilenet» [41] представлена на Рисунке 1.23.

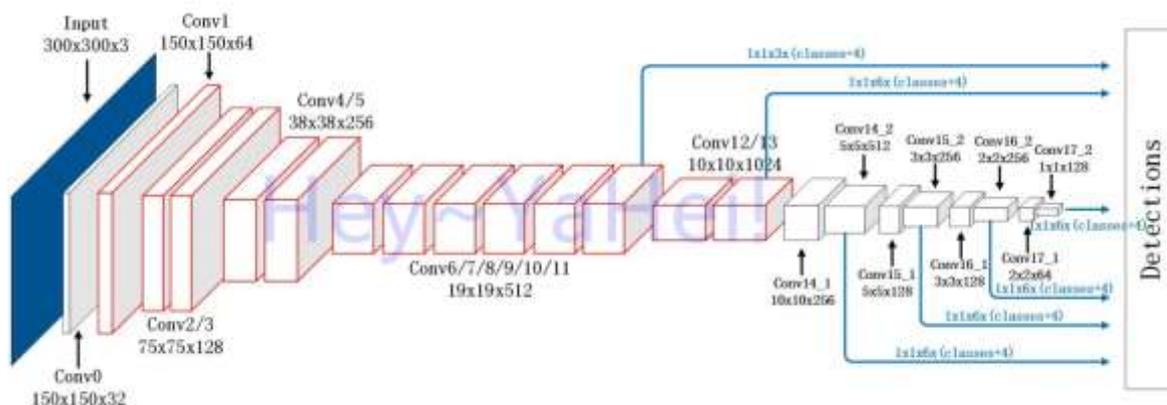


Рисунок 1.23 – Архитектура «Mobilenet» [41]

Главной особенностью данной архитектуры является отсутствие слоёв пулинга (англ. Pooling Layers). Вместо них для понижения размерности изображений используется шаг (англ. Stride), равный 2.

Преимуществом архитектуры «Mobilenet» является её скорость обучения, однако, из этого вытекает и её недостаток – модели, построенные по данной архитектуре, являются менее точными.

1.5.2 Перенос обучения

Перенос обучения (англ. Transfer Learning) – это подход обучения, который заключается в использовании предобученных моделей на больших базах данных (таких как ImageNet) и подстройка их под определение новых классов. Другими словами, происходит адаптация моделей под решение новых задач [35]. Говоря техническим языком, перенос обучения предполагает замену классификатора (последний слой в архитектуре свёрточной нейронной сети, который содержит информацию о классах) так, как это схематично показано на Рисунке 1.24.

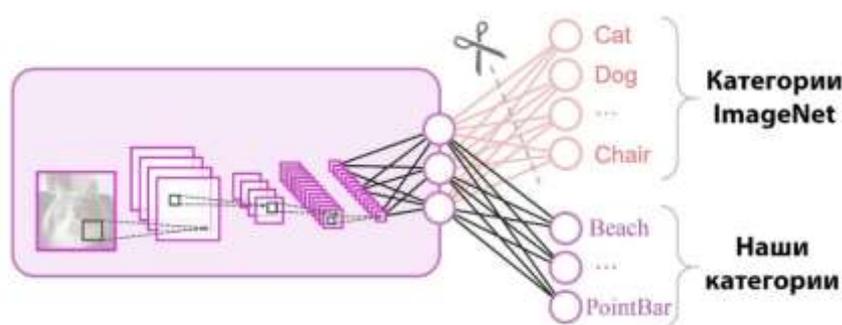


Рисунок 1.24 – Схема переноса обучения

В связи с тем, что последний слой в свёрточной нейронной сети является полносвязным слоем (англ. Fully Connected Layer), использование весов связей между вырезанным классификатором и предыдущим слоем является неприемлемым, поэтому обучение может быть осуществлено исключительно для нового классификатора и предыдущего слоя, в то время как остальные веса

связей свёрточной нейронной сети могут остаться неизменными. Однако, чаще применяется так называемая тонкая подстройка (англ. Fine Tuning), когда процесс обучения вовлекает в себя всю нейронную сеть, что приводит к корректировке всех весов, что делает свёрточную нейронную сеть более надёжной при решении новой задачи.

Благодаря переносу обучения можно существенно снизить время, необходимое для обучения модели, в связи с тем, что обучение осуществляется не с нуля. Более того, перенос обучения требует значительно меньше данных для формирования обучающей выборки (например, обучение модели с нуля потребует более тысячи изображений одного класса, в то время как для переноса обучения будет достаточно всего несколько сотен изображений).

2. Создание моделей для определения обстановок осадконакопления

2.1 Подготовка данных

Чтобы осуществить качественное обучение моделей необходимо сформировать обучающую выборку, состоящую как минимум из 200 изображений кривых ГК для каждого класса. Поиск изображений кривых ГК в открытом доступе не позволил сформировать обучающую выборку необходимого объёма, поэтому было принято решение упростить задачу и создать синтетические кривые ГК.

Синтетические кривые создавались на основе кривых, представленных в работах [26, 34, 47]. На Рисунке 2.1 изображены все 15 классов, сгенерированные для обучения моделей.

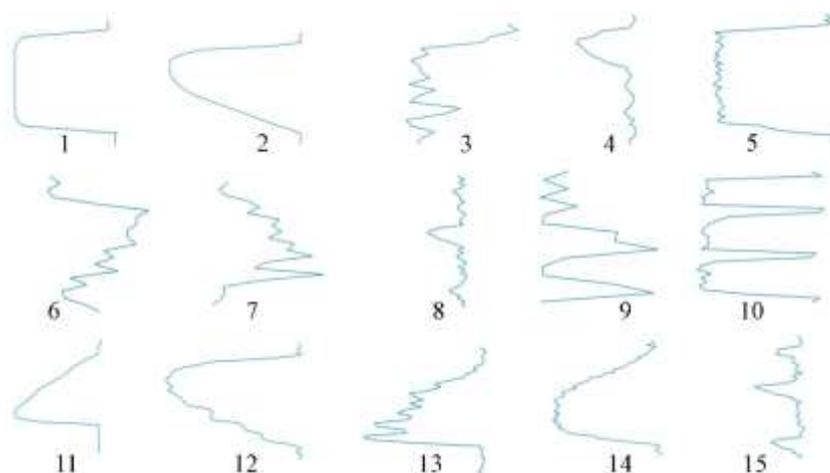


Рисунок 2.1 – Обстановки осадконакопления: 1 – эоловая дюна (англ. Aeolian Dune), 2 – пляж (англ. Beach), 3 – русловой бар второстепенного русла (англ. Crevasse River Channel Bar), 4 – бар дальней зоны (англ. Distal Bar); 5 – распределительный канал (англ. Distributary Channel), 6 – пойма (англ. Flood Plain), 7 – пойменное болото (англ. Flood Swamp), 8 – межканальный эстуарий (англ. Interdistributary Estuary), 9 – междолинные отложения основного русла (англ. Major River Bed Lag), 10 – русловой бар основного русла (англ. Major River Channel Bar), 11 – побочень (англ. Meander Point Bar), 12 – устьевой бар (англ. Mouth Bar), 13 – проксимальная часть конуса выноса (англ. Proximal Deepsea Fan), 14 – подводный распределительный канал (англ. Underwater Distributary Channel), 15 – подводный прирусловой бар (англ. Underwater Natural Levee)

Число классов (15) было выбрано как компромисс между разнообразием обстановок осадконакопления, которым будут обучены модели, и приемлемым временем обучения моделей, т.к. чем больше классов, тем больше времени необходимо затратить на обучение моделей.

Выходные синтетические данные представляли собой изображения, которые имеют размер 320x240 пикселей, сохраненные в формате «.jpg», что объясняется требованиями к обучению (выбор размера объясняется скоростью «свёртки» изображения – чем больше изображение, тем больше времени будет осуществляться его свёртка, а выбор формата объясняется тем, что обучение предполагает использование трёхканальных изображений, в то время как другой популярный формата «.png» может иметь четвёртый канал, что приведёт в ошибке обучения). Кроме того, каждое изображение сопровождалось индивидуальной текстовой аннотацией, в которой упоминались размер изображения, класс объекта и его положение на изображении. Таким образом, с помощью аннотации происходит наглядная демонстрация того, каким классам (их форма и название) мы хотим обучить модели.

Далее для расширения обучающей выборки был использован цикл, на каждой итерации которого каждая точка кривой с помощью генератора случайных чисел принимала значение из области допустимых значений ($\pm 2\%$ от начального положения точки на графике). Отклонение в 2% является наиболее приемлемым значением, которое обеспечивает разнообразие изображений, но в то же время сохраняет узнаваемость определённого класса. Таким образом, было сгенерировано 200 изображений (Рисунок 2.2) каждого класса (всего 3000 изображений).

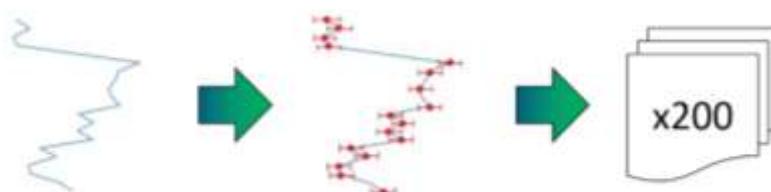


Рисунок 2.2 – Схема генерации кривых

Улучшить способность моделей правильно определять классы на изображениях можно с помощью расширения обучающей выборки (аугментация данных). Как уже отмечалось, чем больше обучающая выборка, тем больше времени необходимо затратить на обучение моделей, однако, качество результата является первостепенной целью. Дополнить обучающую выборку можно изображениями, на которых одни классы изображены на фоне других классов. С данной целью были созданы изображения, на которых изображены комбинации нескольких классов, созданных на предыдущем этапе, с учётом принципе геологической достоверности. Всего было сгенерировано 5 комбинаций (для удобства их можно назвать суперклассов), каждый из которых состоит из 3 обычных классов. Суперклассы представлены на Рисунке 2.3.

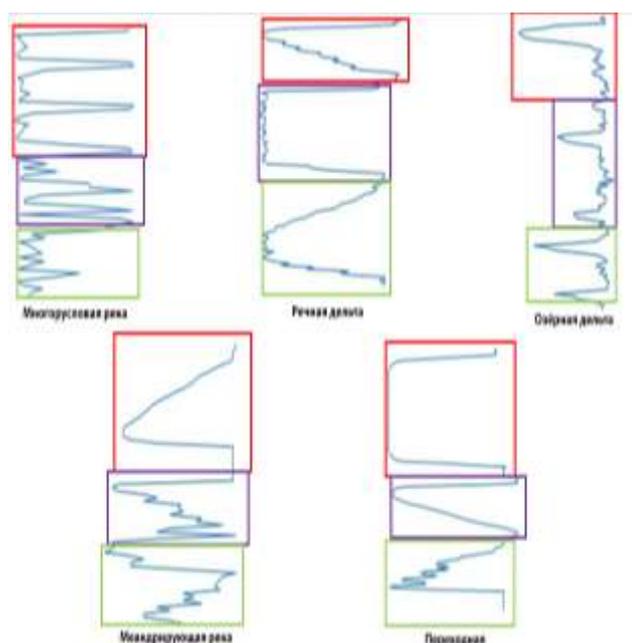


Рисунок 2.3 – Суперклассы: многорусловая река (англ. Braided River) – Crevasse River Channel Bar, Major River Bed Lag, Major River Channel Bar (bottom-up); речная дельта (англ. Fluvial Delta) – Underwater Distributary Channel, Distributary Channel, Mouth Bar; озёрная дельта (англ. Lacustrine Delta) – Interdistributary Estuary, Underwater Natural Levee, Distal Bar; меандрирующая река (англ. Meander River) – Flood Plain, Flood Swamp, Meander Point Bar; переходная (англ. Transient) – Proximal Deepsea Fan, Beach, Aeolian Dune

Как и в случае обычных классов, изображения суперклассов были размножены с использованием генератора случайных чисел.

Кроме того, обучающая выборка может быть дополнена изображениями, которые подверглись некоторым графическим искажениям (поворот, размытие и другие), чтобы повысить способность моделей правильно определять классы, формы которых могут сильно отличаться от тех, что использовались при обучении (что и происходит при решении реальных задач). С данной целью были использованы 2 функции аугментации [24, 25]. Первая функция – функция Perspective, которая меняет перспективу изображения, а вторая – функция PiecewiseAffine, которая искажает сетку изображения. Примеры применения упомянутых функций аугментации представлены на Рисунке 2.4.

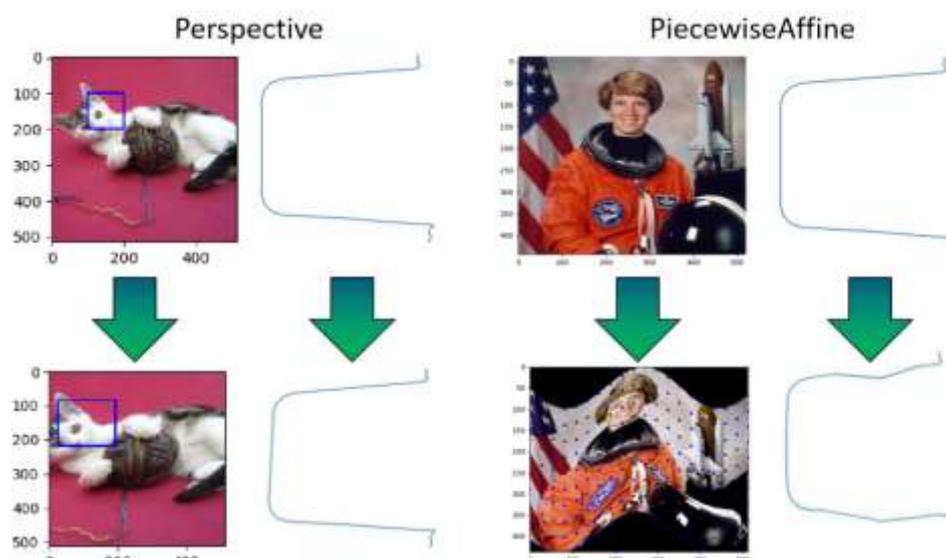


Рисунок 2.4 – Функции аугментации

После описанных действий, обучающая выборка увеличилась с 3000 до 20000 изображений. Такой размер обучающей выборки можно считать приемлемым для получения первых результатов.

Из факта того, что в данной работе используются синтетические каротажные кривые ГК вместо реальных данных, вытекает следующая проблема: реальные кривые ГК могут отличаться от синтетических кривых ГК. Однако, в рамках данной работы исследуется именно возможность

создания продукта, способного распознавать обстановки осадконакопления на кривых ГК, а не создаётся готовый продукт, поэтому в рамках такой цели приемлемо обучать модели на синтетических кривых ГК и тестировать модели тоже на синтетических данных. Кроме того, благодаря использованию аугментации данных, повышающей качество определения классов, можно рассчитывать на некоторый результат и при тестировании моделей на реальных данных.

2.2 Обучение моделей

На сегодняшний день большинство аналитиков данных (англ. Data Scientists) используют два языка программирования для создания моделей - R и Python. Конечно, другие языки программирования тоже могут быть использованы для данных задач, но именно R и Python являются наиболее популярными и имеют низкий порог вхождения, т.к. далеко не все аналитики данных являются программистами. Кроме того, Python имеет большую поддержку со стороны сообщества, что выражается во множестве готовых библиотек и фреймворков, это значительно упрощает процесс машинного обучения. В связи с этим, в данной работе будет использован язык Python (v. 3.7) в качестве основного инструмента для создания модели, способной определять обстановки осадконакопления по каротажным данным.

Существует множество интегрированных сред разработки для машинного обучения: «PyTorch», «Keras», «Tensorflow» и другие. В данной работе будет использована интегрированная среда разработки «Tensorflow» т.к. она является наиболее популярной, и в интернете легче найти руководства и ответы на возникшие в процессе разработки вопросы.

Основным критерием обучения модели является значение ошибки предсказания. В рамках данной работы было принято решение останавливать обучение на моменте, когда предыдущие 10 значений ошибки не превышают 0,05 (5 %). Используя это правило, «Inception» была остановлена на 60026 шаге

обучения, «ResNet» – на 60039 шаге обучения и «Mobilenet» на 114050 шаге обучения. Каждый шаг обучения моделей «Inception» и «ResNet» занимал 1.35 сек/шаг, в то время как для модели «Mobilenet» эта величина составляла 0.69 сек/шаг. Таким образом, полное время обучения модели “Inception” составило 22.51 час, «ResNet» – 22.51 час, и «Mobilenet» – 19.96 часов.

Процесс обучения является весьма ресурсозатратным и требовательным к оборудованию. Например, обучение на локальном компьютере (процессор AMD Ryzen 5 3550H; видеокарта AMD RX560X) занимало несколько недель, что является неприемлемым. В связи с этим, было принято решение воспользоваться сервисом Google Collaboration, который предоставляет удалённый доступ к более мощному оборудованию. Благодаря использованию сервиса Google Collaboration процесс обучения моделей сократился до нескольких дней, что является более приемлемым в текущих условиях.

2.3 Тестирование моделей

Тестирование моделей будет осуществлено на отложенной выборке синтетических кривых и одной реальной кривой ГК пластов ПК1-3. Качество тестирования будет оцениваться по количеству правильных предсказаний, сделанных моделями.

Первый тест представляет собой определение класса на изображении, содержащем только один класс.

Второй текст представляет собой определение объектов на изображении, содержащем 3 класса. Кривая для теста создавалась с учётом принципа геологической достоверности. Например, представим меандрирующую реку. Допустим, что нас интересует точка, соответствующая прирусловой отмели (англ. Point Bar) данной реки (Рисунок 2.5).

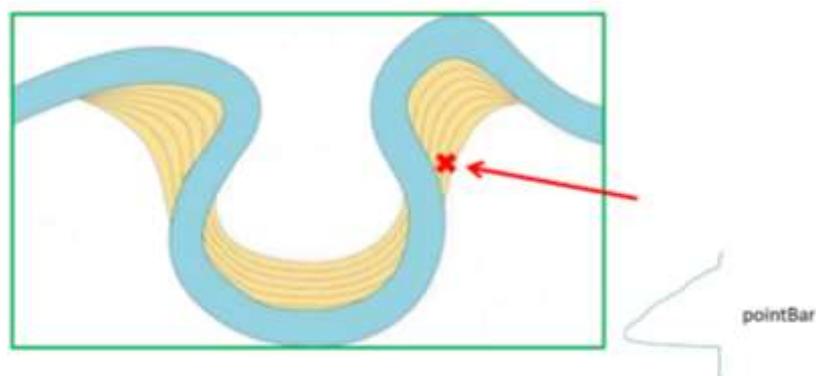


Рисунок 2.5 – Второй тест, часть 1

Логичным продолжением данной обстановки может быть отчуждение части русла с формированием старицы (англ. Oxbow Lake), как изображено на Рисунке 2.6.

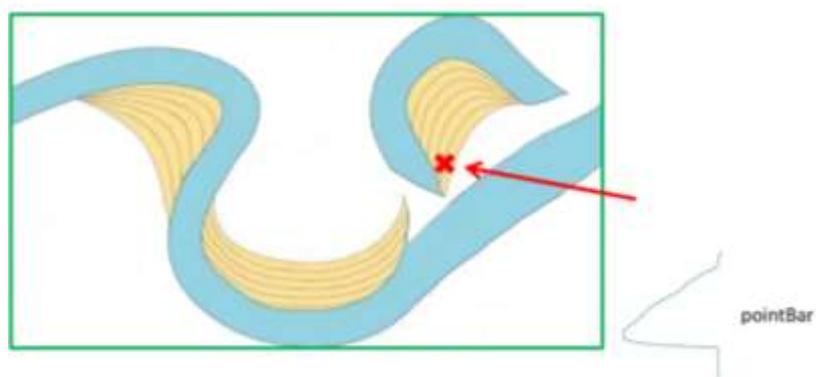


Рисунок 2.6 – Второй тест, часть 2

В период половодья река может выходить за границы русла, затопляя речную пойму (англ. Flood Plain), как показано на Рисунке 2.7.

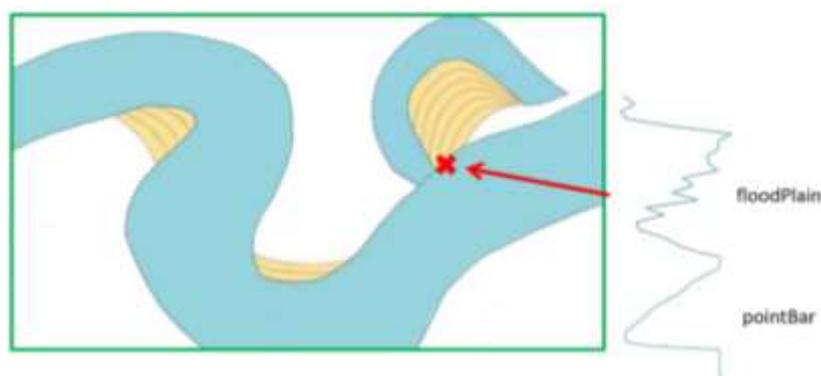


Рисунок 2.7 – Второй тест, часть 3

Когда река возвращается к своему нормальному режиму, застоявшаяся вода на затопленных участках поймы может сформировать пойменное болото (англ. Flood Swamp). Полученная таким образом кривая (Рисунок 2.8) использовалась для проведения второго теста.

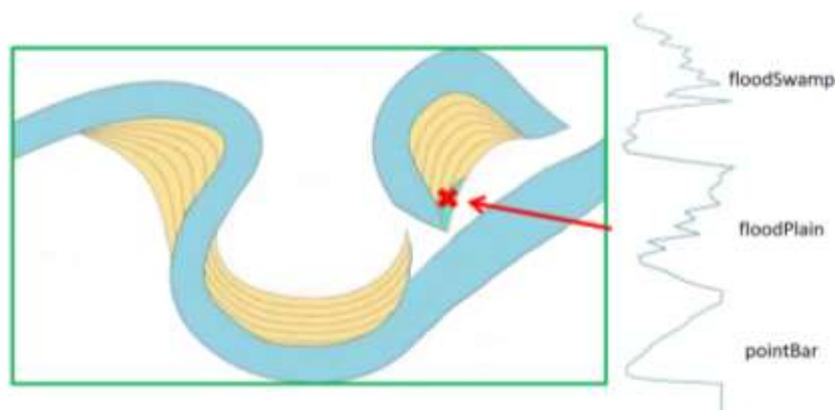


Рисунок 2.8 – Второй тест, часть 4

Третий тест представлял собой определение обстановок осадконакопления по каротажным данным, полученным в нескольких скважинах. Каротажные кривые создавались также с учётом принципа геологической достоверности. Например, имеется обстановка, представленная на Рисунке 2.9, которая уже имеет определённую геологическую историю: в точке «w1» имеется пляж (англ. Beach), которому предшествовала эоловая дюна (англ. Aeolian Dune); в точке «w2» имеется устьевой бар (англ. Mouth Bar), которому предшествовал распределительный канал (англ. Distributory Channel), и в точке «w3» располагается устьевой бар (англ. Point Bar), которому предшествовало пойменное болото (англ. Flood Swamp).

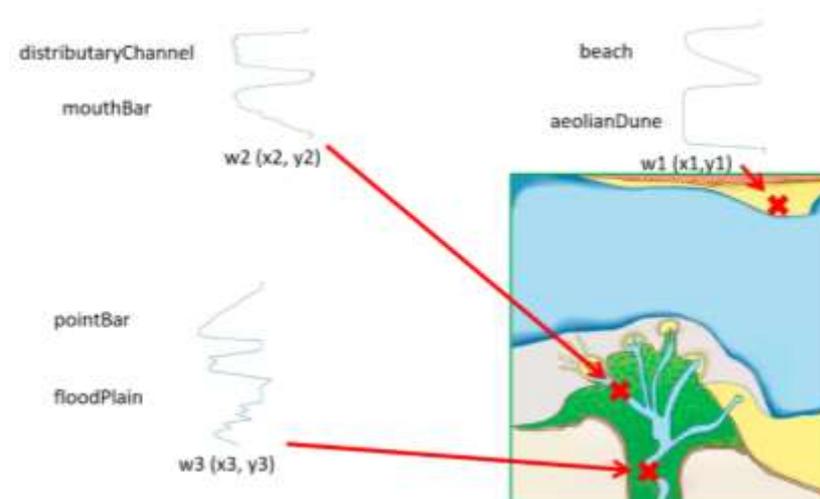


Рисунок 2.9 – Третий тест, часть 1

Предположим, что далее последовала трансгрессия моря, как показано на Рисунке 2.10, что отразилось в наличии во всех трёх точках морского класса – глубоководный конус выноса (англ. Deepsea Fan).

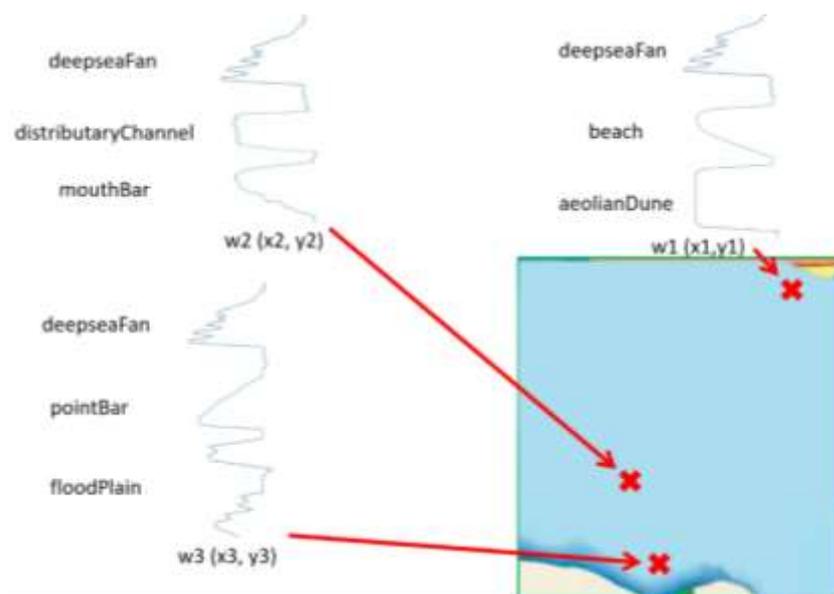


Рисунок 2.10 – Третий тест, часть 2

В рамках третьего теста пространственное взаимоотношение между рассматриваемыми точками должно быть учтено.

Четвёртый тест представляет собой определение обстановок осадконакопления на реальных изображениях каротажных кривых, соответствующих меловым отложениям (Покурская свита ПК1-3). Известно, что пласт ПК1-3 формировался в условиях приливно-отливной дельты,

поэтому ключевым критерием при оценке результатов тестирования будет присутствие предсказаний, связанных приливно-отливной дельтой.

2.4 Обсуждение результатов

Как и ожидалось, обученные модели способны определить объект на изображениях с одним классом весьма точно (~ 99 %), как показано на Рисунке 2.11.

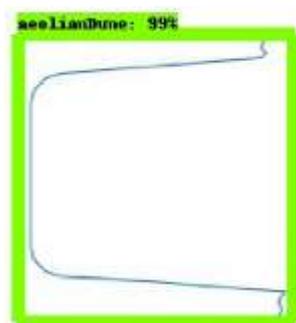


Рисунок 2.11 – Результат первого теста

Во втором тесте модель «Inception» определила все три класса верно, модель «ResNet» сделала только два правильных предсказания, в то время как «Mobilenet» не смогла найти ни один из ожидаемых классов, как показано на Рисунках А.1, А.2, А.3.

Что касается третьего теста, был написан скрипт, который на основе изображений каротажных кривых и координат скважин, в которых данные кривые были записаны, способный визуализировать пространственное взаимоотношение исследуемых скважин и то, какие классы были найдены, как показано на Рисунке 2.12.

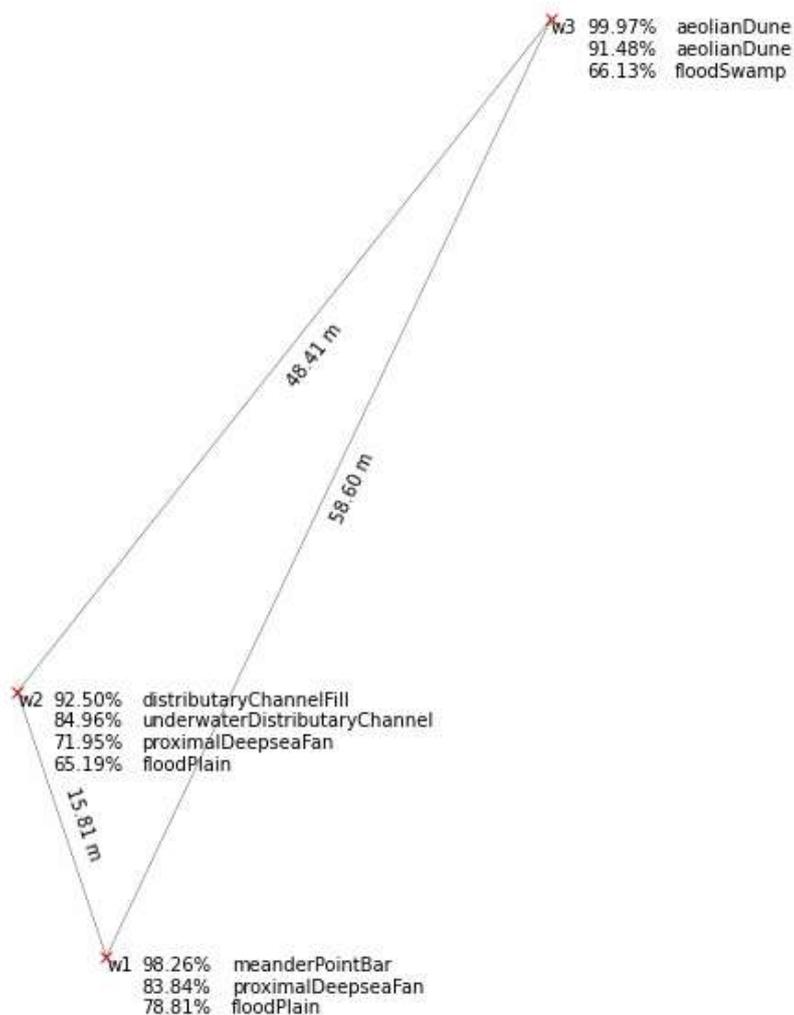


Рисунок 2.12 – Результат третьего теста

По результатам проведенных тестов, модель «Inception» показала себя как наиболее удачная архитектура, которая в большей степени подходит для решения задачи определения обстановок осадконакопления по каротажным кривым.

Далее модель «Inception», как наиболее удачная модель, судя по результатам предыдущих тестов, была протестирована на реальных данных Покурской свиты ПК1-3 (тест 4). Результат тестирования, показанный на Рисунке 2.13, продемонстрировал необходимость доработки модели, однако, даже на текущем этапе модель показала класс Underwater Distributary Channel, который указывает на действительную обстановку, в которой формировался пласт ПК1-3 (приливо-отливная дельта).

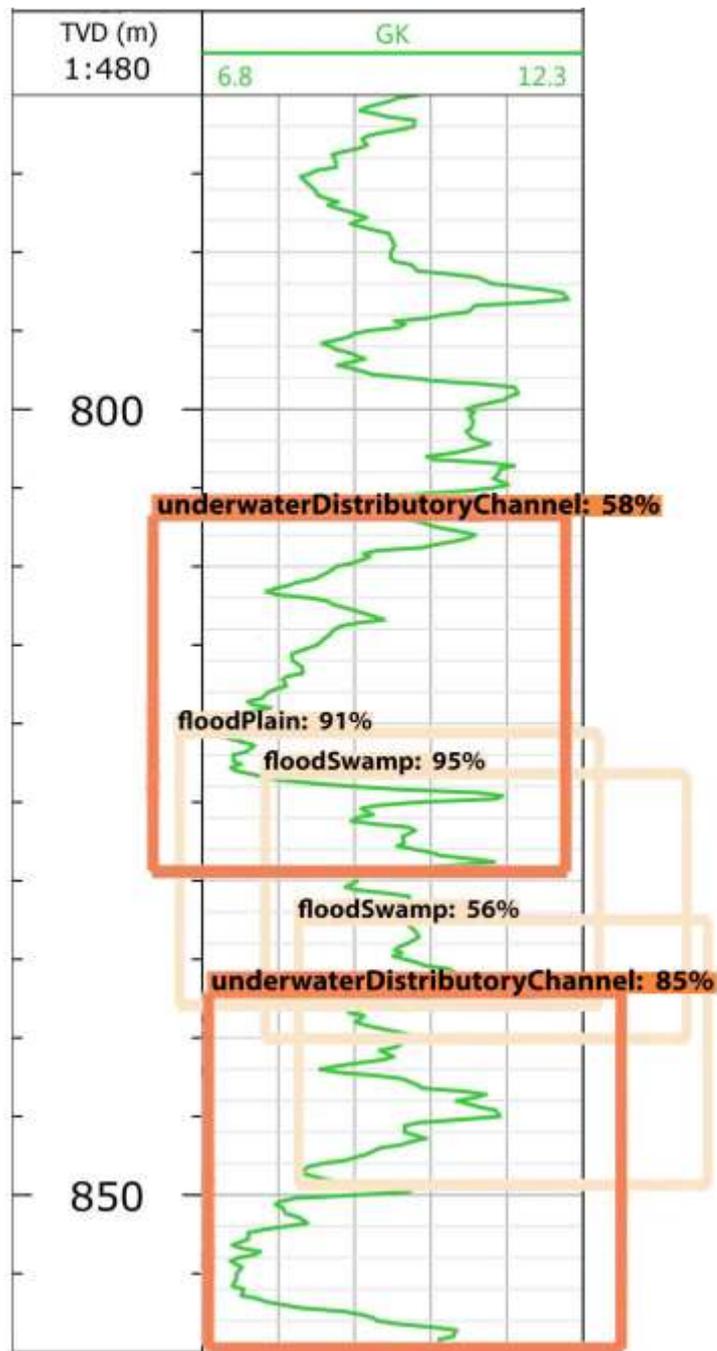


Рисунок 2.13 – Результат четвёртого теста

Таким образом, после того, как модель указала на предполагаемую обстановку осадконакопления (приливно-отливная дельта), специалисты по разработке могут продумывать некоторые моменты разработки, связанные с обстановками осадконакопления. Например, песчаные тела в данной обстановке формируются в процессе бокового наращивания, в связи с чем стоит ожидать наличие непроницаемых экранов между разновозрастными песчаниками, поэтому стоит задуматься о ГРП и горизонтальных скважинах.

Кроме того, для коллекторов, сформированных в приливно-отливной дельте характерна упорядоченная (клиновидная) слоистость, в связи с чем заводнение предпочтительнее осуществлять по падению прослоев.

2.5 Влияние изменения размеров изображения на результат

В связи с тем, что в данном проекте каротажные кривые обрабатываются как изображения, необходимо исследовать устойчивость моделей к изменению размеров изображения. Таким образом, было исследовано, как увеличение и уменьшение высоты, а также увеличение и уменьшение ширины влияет на качество определения обстановок осадконакопления.

Результаты исследования представлены на рисунках А.4, А.5, А.6, А.7. По результатам исследования влияния изменения размера изображения на результат предсказания моделей, выяснилось, что наибольшее влияние оказывает уменьшение ширины, в то время как уменьшение высоты оказывает наименьшее влияние. Таким образом, чтобы добиться наилучшего результата, нужно избегать сжатия изображения каротажной кривой по ширине.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Чтобы выявить потенциальных потребителей разрабатываемой технологии, необходимо определиться с целевым рынком и провести его сегментирование.

Целевой рынок – часть глобального рынка, на котором планируется осуществлять продажу разрабатываемой технологии. Сегмент рынка – часть рынка, выраженная группой потребителей, для которых характерен общий набор характеристик [17].

Сегментирование – разделение целевого рынка на сегменты, в каждом из которых существует необходимость в определённом продукте (услуге) [17].

Целевым рынком технологии, позволяющей определять обстановки осадконакопления по каротажным данным, являются научно-технические институты нефтегазовой отрасли, осуществляющие интерпретацию каротажных данных. Кроме того, сервисные компании нефтегазовой отрасли также могут быть заинтересованы в данной технологии.

Среди отечественных потенциальных потребителей можно отметить следующие организации: «Газпромнефть НТЦ», «ТомскНИПИнефть», «ТННЦ», «СамараНИПИнефть».

Из зарубежных компаний можно отметить следующие организации: Schlumberger, Halliburton, Baker Hughes.

3.2 Диаграмма Исикавы

Диаграмма «причины-следствия» Исикавы – графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, помогающий при решении возникающих проблем в процессе реализации проекта [23].

Построение диаграммы начинается с формулировки проблемы, подлежащей анализу. Сформулированная проблема наносится на центральную горизонтальную стрелку диаграммы.

Далее ключевые факторы первого уровня, влияющие на проблему, подводятся к центральной горизонтальной стрелке. Затем факторы второго уровня, которые в свою очередь влияют на факторы первого уровня, подводятся к стрелкам факторов первого уровня, и так далее, пока все ключевые факторы не будут отражены на диаграмме [23].

Диаграмма Исикавы для данного проекта представлена на Рисунке 3.1.

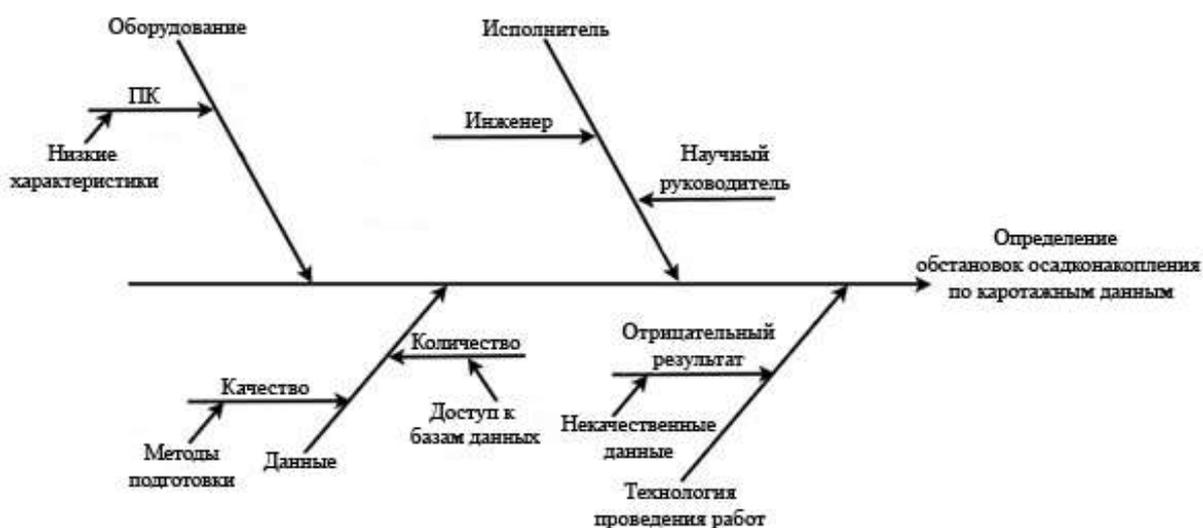


Рисунок 3.1 – Причинно-следственная диаграмма

3.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ – метод стратегического планирования, базирующийся на внутренних (сильные/слабые стороны проекта) и внешних (возможности/угрозы) факторах проекта.

SWOT-анализ данного проекта представлен в Таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Матрица SWOT-анализа

	<p>Сильные стороны:</p> <p>С-1. Ускорение процесса интерпретации каротажных данных</p> <p>С-2. Перспективность разработки</p>	<p>Слабые стороны:</p> <p>Сл-1. Зависимость от большого количества качественных данных</p>
<p>Возможности:</p> <p>В-2. Спрос на продукт</p>	<p>Полная передача интеллектуальных прав на разработку нефтегазовым компаниям</p>	<p>Предоставление бесплатной лицензии нефтегазовым компания при условии предоставления с их стороны каротажных данных</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У-1. Отсутствие потребности в продукте</p>	<p>Дополнение продукта дополнительными функциями (определение литофаций)</p>	<p>Продолжение разработки с использованием синтетических каротажных данных</p>

3.4 Готовность проекта к коммерциализации

В процессе выполнения проекта несколько раз осуществляется степень его готовности к коммерциализации и оценивается, насколько хорошо исполнитель проекта знает, как осуществлять коммерциализацию.

Оценка представляет собой заполнение бланка путём проставления оценок напротив соответствующих пунктов. Расшифровка оценок при оценке научного потенциала проекта:

- 1 – данный аспект проекта не проработан;
- 2 – слабая проработанность данного аспекта проекта;
- 3 – данный аспект проекта завершён, но качество результата сомнительно;
- 4 – данный аспект проекта выполнен качественно;
- 5 – имеется положительное заключение независимого эксперта.

При оценке уровня имеющихся знаний у разработчика баллы означают следующее:

- 1 – нет необходимых знаний;
- 2 – есть теоретические знания;
- 3 – есть теоретические и практические знания для выполнения под чьим-либо руководством;
- 4 – есть теоретические и практические знания для самостоятельного выполнения;
- 5 – есть теоретические и практические знания для самостоятельного выполнения и консультирования.

Затем происходит суммирование баллов по научному потенциалу проекта и уровню знаний у исполнителя проекта. Расшифровка суммарных баллов представлена ниже:

1. от 75 до 60 – разработка является перспективной; разработчик обладает достаточным уровнем знаний для её коммерциализации;
2. от 59 до 45 – разработка обладает перспективностью выше среднего; разработчик обладает уровнем знаний для коммерциализации разработки, который можно охарактеризовать как выше среднего;
3. от 44 до 30 – разработка обладает перспективностью, степень которой можно охарактеризовать, как средняя; разработчик обладает уровнем знаний для коммерциализации разработки, который можно охарактеризовать как средний;
4. от 29 до 15 – разработка обладает перспективностью, степень которой можно охарактеризовать как ниже среднего; разработчик обладает уровнем знаний для коммерциализации разработки, который можно охарактеризовать как ниже среднего;
5. от 14 и ниже – разработка обладает крайне низкой перспективностью; разработчик не обладает достаточным уровнем знаний для коммерциализации разработки.

В Таблице 3.2 бланк с оценками данного проекта.

Таблица 3.2 – Бланк оценки степени готовности проекта

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	4
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	1	3
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	1	3
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	3	4
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	4	4
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	3
12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	1	3

Продолжение таблицы 3.2

13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	2	3
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	1	3
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	3
	ИТОГО БАЛЛОВ	40	53

Таким образом, рассматриваемая разработка обладает перспективностью, степень которой можно охарактеризовать как средняя. Для улучшения проекта необходимо проработать вопросы, связанные с охранной интеллектуальной собственности и финансированием. В то же время, разработчик обладает уровнем знаний для коммерциализации, который можно охарактеризовать как высокий.

3.5 Коммерциализация результатов исследования

Существует несколько целей коммерциализации разработки [18]:

1. получение различных средств (финансы, оборудование и т.д.), необходимых для продолжения работ;
2. единоразовое получение выплат;
3. получение постоянных выплат.

Для того, чтобы получить максимальную выгоду от коммерциализации разработки, необходимо определиться с правильной стратегией. Существует несколько стратегий коммерциализации [18]:

1. Заключение лицензионного соглашения – лицензионное соглашение представляет собой временную передачу прав на осуществление определённой деятельности (производство товаров, их реализация, предоставление услуг и т.д.) в случае, когда объект лицензирования находится под охраной патентного права.

2. Передача «ноу-хау» – передача прав на интеллектуальную собственность, которая находится под охраной в режиме «коммерческой тайны»

3. Инжиниринг – договор выполнения комплекса работ по проектированию, налаживанию или усовершенствованию производства.

4. Франчайзинг – передача прав на использование известной франшизы, что предполагает производство товаров или предоставление услуг под известной маркой.

5. Организация собственного предприятия.

6. Организация совместного предприятия (объединение двух и более юридических лиц).

Для данного проекта был выбран метод передачи «ноу-хау». Это объясняется тем, что данный проект существенным образом зависит от большого объёма каротажных данных, доступ к которым имеется только у нефтегазовых компаний, поэтому более простым решением будет заключить соглашение о передаче разработки, если компании будут согласны предоставить доступ к каротажным данным. Такой способ коммерциализации увеличит привлекательность данного проекта для потенциальных потребителей в связи с тем, что по окончании проекта все права будут принадлежать потребителю, и он сможет ими распоряжаться по своему усмотрению (продажа лицензий, передача и т.д.).

3.6 Инициация проекта

3.6.1 Цели и результаты проекта

Для того, чтобы инициировать новый проект или новую фазу проекта необходимо определиться с целями проекта, ожидаемыми результатами, начальными финансовыми ресурсами, внутренними и внешними

заинтересованными сторонами. Такая информация должна храниться в Уставе проекта.

Устав проекта – документ, содержащий ключевую информацию о проекте [18].

Заинтересованные стороны – внутренние или внешние юридические или физические лица, которые каким-либо образом связаны с проектом.

Заинтересованные стороны данного проекта представлены в Таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Нефтегазовые компании	Технология для определения обстановок осадконакопления по каротажным данным

В Таблице 3.4 представлена информация об иерархии целей проекта и критериях достижения целей.

Таблица 3.4 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Создание технологии для определения обстановок осадконакопления по каротажным данным
Ожидаемые результаты проекта:	1. Программа, написанная на языке программирования Python, позволяющая определять обстановки осадконакопления по каротажным данным 2. Отчет о результатах тестирования программы
Критерии приемки результата проекта:	Адекватность результатов
Требования к результату проекта:	Создание технической документации

3.6.2 Организационная структура проекта

Проект должен содержать информацию об основных участниках, их ролях, функциях и трудозатратах. Такая информация содержится в Таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудо- затраты, час.
1	Меркулов Виталий Павлович, к.г.-м.н., доцент ОНД	Руководитель	Распределяет ресурсы и координирует деятельность участников проекта	576
2	Бурдин Алексей Валерьевич, магистрант ИШПР НИ ТПУ	Исполнитель	Выполнение отдельных работ по проекту	1064
ИТОГО:				1640

3.6.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – лимитирующие факторы, которые препятствуют реализации определённых частей проекта.

Границы проекта – определённые рамки, в которых будет реализован проект.

В Таблице 3.6 указаны основные ограничения проекта.

Таблица 3.6 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/допущения
1. Бюджет проекта	—
2. Источник финансирования	—
3. Сроки проекта:	01.05.2020-01.08.2020
4. Дата утверждения плана управления проектом	01.05.2020
5. Дата завершения проекта	01.08.2020
6. Прочие ограничения и допущения*	—

3.7 Планирование управления научно-техническим проектом

Планирование состоит из процессов, целью которых является распределение основных этапов во времени для достижения финальной цели.

3.7.1 Иерархическая структура работ проекта

Иерархическая структура работ (ИСР) – представление основных и вспомогательных работ на различных этапах реализации проекта. Иерархическая структура работ проекта представлена на Рисунке 3.2.

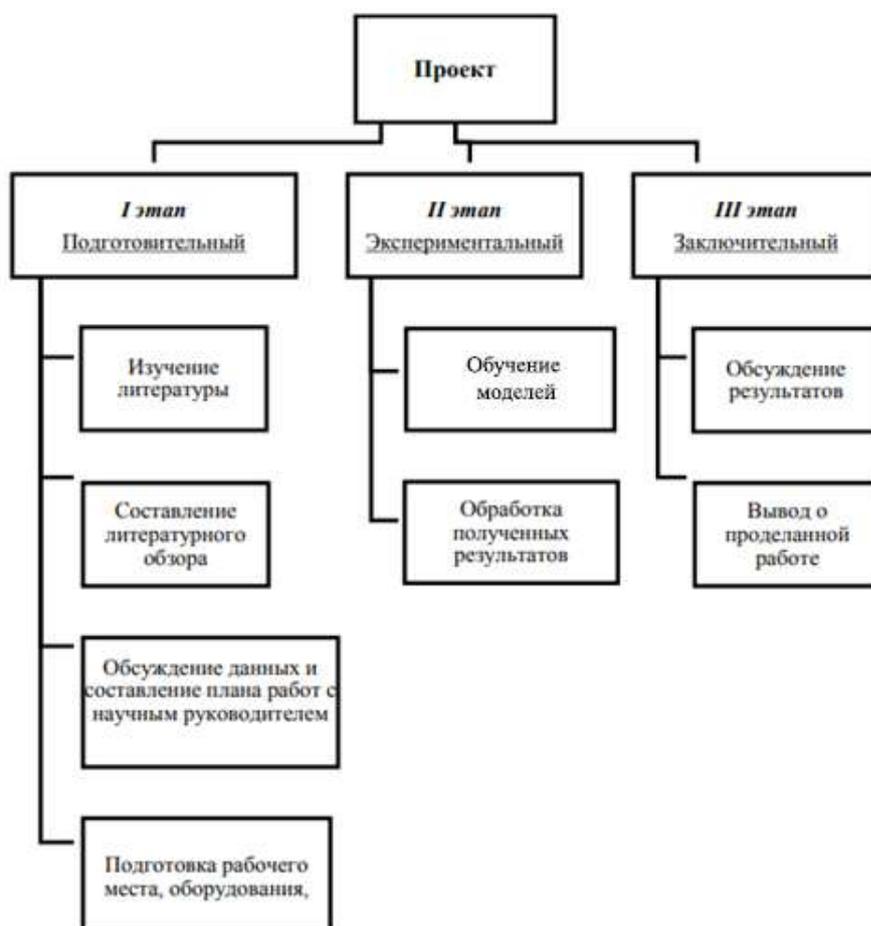


Рисунок 3.2 – Иерархическая структура работ проекта

3.7.2 Контрольные события проекта

Контрольные события проекта представлены в Таблице 3.7.

Таблица 3.7 – Контрольные события проекта

№ п/п	Контрольное событие	Дата	Результат
1	Литературный обзор	08.06.2020	Отчёт о литературном обзоре
2	Анализ рынка	15.06.2020	Отчет об анализе рынка
3	Экспериментальная часть	26.07.2020	Отчет о полученных результатах
4	Составление отчёта	01.08.2020	Согласование и подпись руководителя

3.7.3 План проекта

Для осуществления планирования проекты были построены сетевой и календарный графики проекта.

Диаграмма Ганта – столбчатая диаграмма, на которой ключевые работы распределены во времени, необходимая для наглядного представления последовательности работы.

Календарный план представлен в Таблице 3.8.

Таблица 3.8 – Календарный план проекта

№	Название	Длительность, дней	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Получение задания	1	01.05.2020	02.05.2020	Меркулов В.П. Бурдин А.В.
2	Проведение литературного обзора	30	03.05.2020	02.06.2020	Бурдин А.В.
3	Подготовка отчёта о литературном обзоре	5	03.06.2020	08.06.2020	Бурдин А.В.
4	Принятие решения о дальнейших исследованиях	1	03.06.2020	04.06.2020	Меркулов В.П. Бурдин А.В.
5	Проведение анализа рынка	3	09.06.2020	12.06.2020	Бурдин А.В.

Продолжение таблицы 3.8

6	Подготовка отчета об анализе рынка	2	13.06.2020	15.06.2020	Бурдин А.В,
7	Принятие решения о дальнейших исследованиях	1	13.06.2020	14.06.2020	Меркулов В.П. Бурдин А.В.
8	Подготовительные работы к проведению эксперимента	1	16.06.2020	17.06.2020	Бурдин А.В.
9	Проведение эксперимента	33	18.06.2020	21.07.2020	Бурдин А.В.
10	Составление отчёта о проведённых исследованиях	4	22.07.2020	26.07.2020	Бурдин А.В.
11	Согласование результатов с научным руководителем	1	22.07.2020	23.07.2020	Меркулов В.П. Бурдин А.В.
12	Составление финального отчёта по проекту	5	27.07.2020	01.08.2020	Бурдин А.В.

Диаграмма Ганта представлена в Таблице 3.9.

Таблица 3.9 – Диаграмма Ганта

Виды работ	Исполнители	Продолжительность выполнения работ												
		T _i , дней	01.05.2020	11.05.2019	21.05.2020	01.06.2020	11.06.2020	21.06.2020	31.06.2020	01.07.2020	11.07.2020	21.07.2020	31.07.2020	01.08.2020
Получение задания	руководитель, магистрант	1												
Проведение литературного обзора	магистрант	30												
Подготовка отчёта о литературном обзоре	магистрант	5												
Принятие решения о дальнейших исследованиях	руководитель, магистрант	1												
Проведение анализа рынка	магистрант	3												

Продолжение таблицы 3.9

Подготовка отчета об анализе рынка	магистрант	2												
Принятие решения о дальнейших исследованиях	руководитель, магистрант	1												
Подготовительные работы к проведению эксперимента	магистрант	1												
Проведение эксперимента	магистрант	33												
Составление отчёта о проведённых исследованиях	магистрант	4												
Согласование результатов с научным руководителем	руководитель, магистрант	1												

Сетевой график – графическое представление ключевых работ по проекту, а также взаимосвязей между ними. Сетевой график представлен на Рисунке 3.3.



Рисунок 3.3 – Сетевой план-график проекта

Сетей график строится на основе метода критического пути, который позволяет варьировать даты начала и окончания работ, не лежащих на критическом пути.

Критический путь – наиболее продолжительный путь в сетевом графике.

3.7.3.1 Проход по сети в прямом направлении

Для определения раннего начала каждой работы необходимо двигаться по сети в прямом направлении. Считается, что любая первая работа начинается в момент $t = 0$. Если возникает ситуация, в которой несколько работ предшествуют одной работе, её начало определяется окончанием самой поздней работы:

$$t_{pn}(j) = \max [t_{pn}(i) + T(i)], \quad (3.1)$$

где $t_{pn}(j)$ – раннее начало последующей работы; $t_{pn}(i)$ – раннее начало предыдущей работы; $T(i)$ – число дней, затраченное на выполнение i -й работы.

Для расчёта раннего окончания работы необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$t_{po}(i) = t_{pn}(i) + T(i). \quad (3.2)$$

Как уже отмечалось, ключевым моментом в сетевом графике является определение критического пути:

$$T_{кр} = T[L_{\max}(1, зав.)], \quad (3.3)$$

где $L_{\max}(1, зав.)$ – общее число дней, которое необходимо затратить для выполнении всего проекта с учётом самых длительных работ.

При этом приравнивают раннее начало и окончание завершающей работы с поздним началом и окончанием этой же работы:

$$t_{pn}(зав.) = t_{nn}(зав.), \quad (3.4)$$

$$t_{po}(зав.) = t_{no}(зав.). \quad (3.5)$$

3.7.3.2 Проход по сети в обратном направлении

Проход по сети в обратном направлении (от конечной работы к начальной) осуществляется для определения поздних сроков работ.

Двигаясь в обратном направлении, в ситуации, когда несколько работ предшествуют одной работе, следует выбирать самую раннюю дату в качестве позднего начала работы:

$$t_{\text{пн}}(i) = \min t_{\text{пн}}(j) - T(i), \quad (3.6)$$

где $t_{\text{пн}}(i)$ – позднее начало i -ой работы; $\min t_{\text{пн}}(j)$ – самая ранняя дата j -ой работы; $T(i)$ – количество дней, затраченное на выполнение i -ой работы.

В качестве позднего окончания работы принимается самая ранняя дата позднего начала работы:

$$t_{\text{по}}(i) = \min t_{\text{пн}}(j), \quad (3.7)$$

где $t_{\text{по}}(i)$ – позднее окончание i -ой работы; $\min t_{\text{пн}}(j)$ – минимальная величина позднего начала работ, приходящихся на точку «схождения» i -ой работе.

3.7.3.3 Расчет резервов и времени работы

Для того, чтобы определить, насколько продолжительность работ может быть увеличена, необходимо рассчитать полный резерв:

$$R(L_n) = T_{\text{кр}} - T(L_n), \quad (3.8)$$

где $T_{\text{кр}}$ – продолжительность критического пути; $T(L_n)$ – продолжительность любого другого пути.

В случае, если полный резерв используется на одной работе, его использование становится невозможным на других работах, лежащих на том же самом пути:

$$R_n(i) = \min t_{\text{пн}}(j) - t_{\text{по}}(i), \quad (3.9)$$

где $\min t_{\text{пн}}(j)$ – минимальное позднее начало последующих работ; $t_{\text{по}}(i)$ – раннее окончание предшествующей работы.

Полный резерв критического пути равен 0.

Для того, чтобы определить, насколько продолжительность каждой конкретной работы может быть увеличена без влияния на остальные работы, лежащие на том же самом пути, необходимо рассчитать свободный резерв:

$$R_c(i) = t_{pn}(j) - t_{pn}(i) - T(i), \quad (3.10)$$

где $t_{pn}(j)$ – раннее начало последующей работы; $t_{pn}(i)$ – раннее начало предшествующей работы.

Параметры сетевого графика представлены на Рисунке 3.3. Данные, полученные при расчете параметров, сведены в Таблицу 3.10.

Таблица 3.10 – Параметры сетевого графика

Название работы	№ раб.	$T_{\text{кал}}$	t_{pn}	t_{po}	t_{nn}	t_{no}	R_n	R_c
Получение задания	1	1	0	1	0	1	0	0
Проведение литературного обзора	2	30	1	31	1	31	0	0
Подготовка отчёта о литературном обзоре	3	5	31	36	31	36	0	0
Принятие решения о дальнейших исследованиях	4	1	31	32	35	36	4	4
Проведение анализа рынка	5	3	36	39	36	39	0	0
Подготовка отчета об анализе рынка	6	2	39	41	39	41	0	0
Принятие решения о дальнейших исследованиях	7	1	39	40	40	41	1	1
Подготовительные работы к проведению эксперимента	8	1	41	42	41	42	0	0
Проведение эксперимента	9	33	42	75	42	75	0	0
Составление отчёта о проведённых экспериментах	10	4	75	79	75	79	0	0
Согласование результатов с научным руководителем	11	1	75	76	78	79	3	3
Составление финального отчёта	12	5	79	84	79	84	0	0
Резерв времени полного пути $R(L_n)$	8							
Критический путь $T_{кр}$	84							

3.7.4 Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых

расходов, необходимых для его выполнения. Расчет стоимости материальных затрат производится по действующим прейскурантам или договорным ценам. Результаты по данной статье отражены в Таблице 3.11.

Таблица 3.11 – Расчет затрат на расходные материалы

№ п/п	Наименование	Марка, размер	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
1	Бумага А4	SVETOCOPY	2 упаковки	350	700
2	Тетрадь 96 листов	—	1 шт.	55	55
3	Ручка шариковая	—	2 шт.	30	60
Всего за расходные материалы, руб.					815
Транспортно-заготовительные расходы (3-5%), руб.					40,75
Итого по статье C_m , руб.					855,75

Расходы по статье «Спецоборудование» представлены в Таблице 3.12.

Таблица 3.12 – Спецоборудование для научных работ

№ п/п	Наименование	Кол-во	Цена ед., руб.	Норма амортизации, %	Сумма, руб.	Амортизация за период выполнения проекта
1	компьютер	1	50000	15	50000	2500
Итого					50000	2500

Расходы по статье «Энергозатраты» представлены в Таблице 3.13.

Таблица 3.13 – Расчет энергозатрат

Оборудование	Мощность, кВт	Время, ч	Энергозатраты	Сумма, руб. (2,45 руб./кВт)
Компьютер	0,6	1104	662,4	1622,88
Итого:				1622,88

Основная заработная плата работников, непосредственно занятых выполнением проекта, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$C_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}, \quad (3.11)$$

где, $Z_{осн}$ – основная заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Основная заработная плата ($Z_{осн}$) руководителя (лаборанта, инженера) от предприятия (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}, \quad (3.12)$$

где $Z_{осн}$ – основная заработная плата одного работника; $T_{раб}$ – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (3.13)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя; при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала в рабочих днях. В Таблице 3.14 представлен баланс рабочего времени.

Таблица 3.14 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Инженер
Календарное число дней	92	92
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	26	26
- праздничные дни	12	12
Потери рабочего времени		
- отпуск	0	0
- невыходы по болезни	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	54	54

В Таблице 3.15 отражена основная заработная плата сотрудников.

Таблица 3.15 – Основная заработная плата

Исполнители	Зб., руб.	k_p	Зм., руб.	Здн., руб	Тр., дни	Зосн., руб
Руководитель	25 000	1.3	32 500	1816,18	54	98 073,72
Инженер	10 000	1.3	13 000	726,47	54	39 229,38

Дополнительная заработная плата рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}, \quad (3.14)$$

где $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.; $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной зарплаты; $Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

В Таблице 3.16 представлены все виды заработной платы.

Таблица 3.16 – Заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Инженер
Основная зарплата	98 073,72	39 229,38
Дополнительная зарплата	9807,37	3922,94
Зарплата исполнителя	—	—
Итого по статье $C_{сп}$	107 881,09	43 152,32

Отчисления на социальные нужды составляют 30.2 % от основной зарплаты. В Таблице 3.17 представлены отчисления на социальные нужды.

Таблица 3.17 – Расчёт отчислений на социальные нужды

	Заработная плата, руб.	Социальные отчисления, руб.
Руководитель	98 073,72	29 618,26
Инженер	39 229,38	11 847,27
Итого:		41 465,53

В Таблице 3.18 представлена группировка затрат по статьям.

Таблица 3.18 – Группировка затрат по статьям

Вид статьи	Сумма затрат, руб.
Расходные материалы	855,75
Амортизационный отчисления	2500

Продолжение таблицы 3.18

Основная заработная плата	137 303,1
Дополнительная заработная плата	13 730,31
Отчисления на социальные нужды	41 465,53
Оборудование	50 000
Затраты на электроэнергию	1622,88
ИТОГО:	110 174,47

3.8 Организационная структура проекта

На практике используется несколько базовых вариантов организационных структур: функциональная, проектная, матричная. Наиболее подходящей организационной структурой данной работы является проектная структура, представленная на Рисунке 3.4.

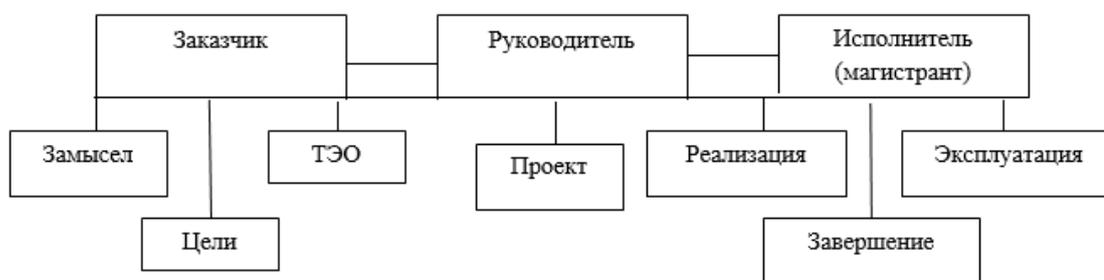


Рисунок 3.4 – Организационная структура проекта

3.9 Матрица ответственности

Для распределения ответственности между участниками проекта формируется матрица ответственности.

Степень участия в проекте может характеризоваться следующим образом:

Ответственный (О) – лицо, отвечающее за реализацию этапа проекта и контролирующее его ход.

Исполнитель (И) – лицо (лица), выполняющие работы в рамках этапа проекта.

Утверждающее лицо (У) – лицо, осуществляющее утверждение результатов этапа проекта (если этап предусматривает утверждение).

Согласующее лицо (С) – лицо, осуществляющее анализ результатов проекта и участвующее в принятии решения о соответствии результатов этапа требованиям.

Матрица ответственности представлена в Таблице 3.19.

Таблица 3.19 – Матрица ответственности

Этапы проекта	Руководитель	Магистрант
Анализ литературных данных	У	О; И
Анализ рынка и потенциальных потребителей	У	О; И
Подготовительные работы	У	И
Проведение эксперимента	У; С	О; И
Составление отчета	У	О; И

3.10 План управления коммуникациями проекта

План управления коммуникациями, представленный в Таблице 3.20, отражает требования к коммуникациям со стороны участников проекта.

Таблица 3.20 – План управления коммуникациями проекта

№п/п	Какая информация передается	Кто передает информацию	Кому передается информация	Когда передает информацию
1	Статус проекта	Руководитель проекта	Исполнитель проекта	Ежемесячно (конец периода)
2	Обмен информацией о текущем состоянии проекта	Исполнитель проекта	Участникам проекта	Еженедельно (конец недели)
3	Документы и информация по проекту	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Ежемесячно (конец периода)
4	О выполнении контрольной точки	Исполнитель проекта	Руководителю проекта	Ежемесячно (конец периода)

3.11 Реестр рисков проекта

Идентифицированные риски проекта включают в себя возможные неопределенные события, которые могут возникнуть в проекте и вызвать последствия, которые повлекут за собой нежелательные эффекты.

Реестр рисков проекта представлен в Таблице 3.21.

Таблица 3.21 – Реестр рисков

№	Риск	Потенциальное воздействие	Вероятность наступления (1-5)	Влияние риска (1-5)	Способы смягчения риска	Условия наступления
1	Срыв сроков	Нарушение договоров	3	3	Использование нескольких компьютеров	Нехватка вычислительных мощностей
2	Финансирование	Нехватка денежных средств для проведения исследований	1	4	Привлечение инвесторов	Сокращение бюджета
3	Незаинтересованность	Отсутствие рынка сбыта	1	5	Добавление дополнительных функций	Отсутствие новизны и востребованности и исследования

3.12 Заключение по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Таким образом, для данного проекта построена причинно-следственная диаграмма Исикавы, выявлены потенциальные потребители и риски, составлен сетевой план-график для отображения комплекса работ по теме с установленными между ними взаимосвязями.

4. Социальная ответственность

Объектом исследования в данном проекте является программа, позволяющая выделять обстановки осадконакопления на изображениях каротажных кривых. В рамках выполнения данного проекта предполагается использование вычислительных средств компьютера, как основного инструмента.

Научно-исследовательская работа проходила в центре Heriot Watt НИ ТПУ. Рабочий кабинет отвечал всем требованиям техники безопасности, охране условий труда, пожарной безопасности.

4.1 Организационные вопросы по компоновке рабочей зоны

В соответствии с Федеральным законом Российской Федерации N 426-ФЗ устанавливается правило проведения специальной оценки условий труда, определяются права и обязанности, а также ответственность участников оценки условий труда.

При компоновке рабочей зоны учитываются всевозможные факторы, которые могут повлиять на человека. Рабочий кабинет должен быть хорошо освещен, чтобы не препятствовать проведению работы. Также все электроприборы должны отвечать требованиям техники пожарной безопасности, а также иметь изоляцию и заземление. Верхняя одежда должна храниться в шкафу. Для предотвращения чрезвычайных ситуаций все трудящиеся обязаны проходить инструктаж по технике безопасности.

4.2 Производственная безопасность

Основные элементы производственного процесса на рабочем месте представлены в Таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ	Нормативные документы
	Экспериментальный	
1. Отклонение показателей микроклимата	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений [9]. ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты [6]. Федеральный Закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" [13].
3. Отсутствие или недостаток естественного света	+	
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	
5. Повышенное значение напряжения в электрической цепи, замыкание которой может произойти через тело человека	+	
	+	

4.2.1 Отклонение от показателей микроклимата

Во время работы в рабочем кабинете трудящийся находится под влиянием микроклимата внутренней среды помещения в соответствии с основными показателями воздуха:

1. температура (t) – 19-21°C;
2. относительная влажность – 60 - 64%;
3. скорость движения воздуха (v) – 0,2 м/с.

Данные показатели соответствуют оптимальным условиям.

Для поддержания оптимальных параметров микроклимата в рабочем кабинете на постоянной основе устанавливается вентиляционная система, подающая чистый воздух в рабочую зону.

4.2.2 Освещение

Для работы в рабочем кабинете наиболее предпочтителен комбинированный тип освещения. В рабочей зоне должны присутствовать как

естественное, так и искусственное виды освещения, чтобы не вызывать перенапряжение глаз трудящихся и увеличить производительность труда. В соответствии с [11] для работы в рабочем кабинете рекомендуется значение освещенности в пределах 400 лк на рабочих столах от общего освещения. В производственных помещениях оба вида освещения необходимо контролировать с помощью люксметра каждый год.

4.2.3 Расчет искусственного освещения

В помещении рабочего кабинета источниками искусственного освещения являются открытые двухламповые (ОД) люминесцентные лампы с мощностью 2x40 Вт, предназначенные для помещений с хорошим отражением потолка и стен; допускаются при умеренной запыленности и влажности.

Для расчета искусственного освещения необходимо знать размеры помещения:

1. H – высота помещения, 4,5 м.;
2. a/A – длина, 22 м.;
3. b/B – ширина, 12 м.
4. $h_{\text{рп}}$ – высота рабочего стола, 0,8 м.

Согласно [21] значение нормируемой освещенности для средней точности IV разряда составляет 300 лк (E_n). А также в соответствии с [21]: коэффициент отражения стен $R_c = 50\%$, потолка $R_n = 70\%$, поскольку потолок в помещении рабочего кабинета свежей побелки, стены побелены в светлокремовый цвет с окнами без штор. Коэффициент запаса $K_z = 1,5$, коэффициент неравномерности $Z = 1,1$.

Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения. Так как светильники в рабочем кабинете относятся к открытым двухламповым, то $\lambda = 1,4$.

Приняв h_c (расстояние светильника от перекрытия) = 0,5 м, получаем, что высота светильника над рабочей поверхностью h равняется

$$h = 4,5 - 0,5 - 0,8 = 3,2 \text{ м.} \quad (4.1)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами L равняется

$$L = 1,4 \cdot 3,2 = 4,5 \text{ м.} \quad (4.2)$$

В связи с тем, что светильники расположены в 3 ряда, используем для дальнейших расчётов величину $L/3 = 1,5$ м.

В каждом ряду установлено по 10 светильников типа ОД мощностью 40 Вт (с длиной 1,654 м), при этом расстояние между светильниками в ряду равно 50 см. План помещения и размещения в нём светильников изображён на Рисунке 4.1.

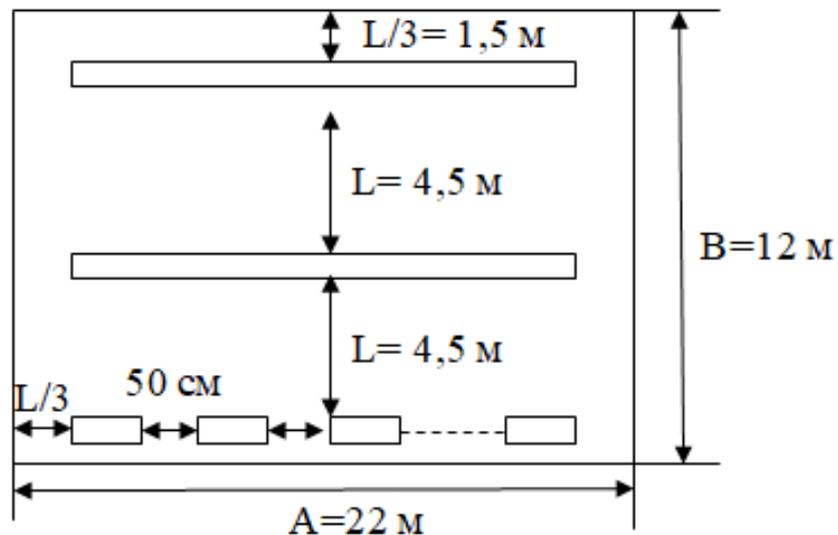


Рисунок 4.1 – План помещения и размещения в нём светильников

Учитывая, что в каждом светильнике установлено 2 лампы, общее число ламп в помещении $N = 60$. Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{H \cdot (A + B)} = \frac{264}{3,2 \cdot 34} = 2,4, \quad (4.3)$$

где S – площадь помещения (192 м^2), остальные величины известны и были представлены ранее.

Исходя из результата, по Таблице, приведённой в [21], определяем коэффициент использования светового потока η , который равен $0,64$.

Зная все необходимые значения, рассчитываем световой поток лампы по следующей формуле:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_z \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 264 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{60 \cdot 0,64} = 3403 \text{ лм.} \quad (4.4)$$

Определяем удовлетворительный световой поток ламп в каждом из рядов: по Таблице, приведённой в [21] выбираем стандартную лампу – ЛТБ 40 Вт с потоком 2850 лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\% , \quad (4.5)$$

$$-10\% \leq \frac{2850 - 3403}{2850} \cdot 100\% \leq +20\% , \quad (4.6)$$

$$-10\% \leq 19,4\% \leq +20\% . \quad (4.7)$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 60 \cdot 40 = 2400 \text{ Вт.} \quad (4.8)$$

Зная все значения помещения, типы светильников для нормированного искусственного освещения и коэффициенты отражения стен и потолка, рассчитав световой поток, индекс помещения - приходим к выводу, что освещение данного рабочего помещения соответствует необходимым нормам и пригодно для проведения научно-исследовательских экспериментов без вреда здоровью трудящихся.

4.2.4 Повышенный уровень шума

Оценку уровня шума в рабочих зонах проводят для соотнесения с установленными требованиями санитарных норм, для оценки шума от оборудования, с той целью, чтобы бороться с шумом. Чтобы оценить шум используют частотный спектр измеренного уровня звукового давления, выражающийся в децибелах (дБ) в активных полосах частот, который затем сравнивается с предельным спектром. Согласно [5, 8], уровень шума не должен быть в пределах установленных требований. Согласно [12] адекватные параметры шума составляют 80 дБ.

Пределно допустимый уровень (ПДУ) шума – максимальная величина шума, которая не вызывает ухудшение состояния здоровья при ежедневном воздействии на работника не более 40 часов в неделю.

4.2.5 Электробезопасность

Электрооборудование должно быть устойчивым к условиям окружающей среды либо должно быть защищено от воздействий. Поскольку, например, сырость, жидкости, высокая температура окружающего воздуха увеличивают риск поражения током человека. Вдобавок, факторами возможного поражения током могут быть близлежащие к электроприборам металлические заземлённые предметы, поскольку одновременное прикосновение человека к этим предметам и оборудованию под напряжением может вызвать протекание электрического тока через тело человека.

Чтобы предотвратить жизненно опасные ситуации из-за воздействия электрического тока, необходимо соблюдать правила защиты от поражения током согласно [7]. Также в связи с данной угрозой, электрооборудование в рабочем кабинете должно иметь защитное заземление [1].

Напряжения прикосновения и токи, воздействующие на человека при нормальных условиях не должны превышать: при переменном токе (50 гЦ) < 2 Ом и 0.3 Ам; при переменном (400 гЦ) < 3 Ом и 0.4 Ам; при постоянном < 8 Ом и 1 Ам согласно [2].

4.2.6 Пожарная безопасность

Помещения рабочей зоны должны соответствовать требованиям пожарной безопасности и быть оснащёнными средствами пожаротушения [3, 4].

Основным фактором возникновения пожара в рабочем кабинете является неисправность электроприборов или электропроводки. Для

предотвращения пожара, связанного с электроприборами, на рабочем месте рекомендуется использовать:

1. ручной воздушно-пенный огнетушитель ОВП-10 (используется для тушения многих материалов, в том числе подключённых к сети электроприборов);

2. асбестовое одеяло (используется для тушения обесточенных электропроводов, горячей одежды);

3. песок (для тушения обесточенных горящих проводов на горизонтальной поверхности).

Алгоритм использования огнетушителей: поднести огнетушитель к источнику пожара на дистанции не менее 1 метра, при помощи иглы/гвоздя прочистить спрыск, рычаг повернуть до отказа до 180°, перевернуть огнетушитель вверх дном и направить струю на огонь.

С целью обеспечения безопасного выхода из рабочего помещения в случае возникновения пожара следует исключить загромождение проходов помещения.

Все сотрудники должны быть ознакомлены с инструкцией и планом эвакуации.

Научно-исследовательская работа проводилась в центре Heriot Watt НИ ТПУ, рабочие помещения которого соответствуют всем установленным требованиям.

4.3 Безопасность жизнедеятельности

4.3.1 Чрезвычайные ситуации

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – ситуация, при которой возникает угроза жизни, и наносится ущерб имуществу населения в результате появления очага ЧС (В соответствии с ГОСТ Р22.0.02-2016).

ЧС по причинам возникновения классифицируют следующим образом:

1. Стихийные бедствия. При возникновении стихийных бедствий (наводнения, бури, ураганы) сотрудники должны перекрыть подачу воды, обесточить помещения и эвакуируются.

2. Техногенные аварии. В результате производственной аварии в рабочем помещении может возникнуть возгорание, прорыв отопительной системы и т.д. В этом случае необходимо эвакуировать персонал из рабочего помещения, локализовать распространение пламени, вызвать спецслужбы, пострадавшим оказать первую помощь. При возгорании необходимо принять следующие меры:

а. затушить огонь водой, если огню подвержена мебель, одежда и т.д.;

б. затушить огонь порошковым огнетушителем, если огню подвержены электроприборы.

3. Социально-политические. В случае возникновения военных (социальных) конфликтов и нападения противника рабочее помещение выполняются следующие мероприятия:

а. обесточивание помещений;

б. отключением подачи воды.

В случае возникновения возгорания в рабочем помещении, необходимо эвакуировать сотрудников. Необходимо вызвать специальные службы и оказать первую помощь нуждающимся. После ликвидации чрезвычайной ситуации помещение должно быть проветрено для выведения загрязненного воздуха [19].

4.3.2 Правила работы с ПЭВМ

При работе с компьютером необходимо придерживаться следующих правил, описанных в [10].

Экран видеомонитора должен находиться от глаз пользователя на расстоянии 600-700 мм, но не ближе 500 мм с учетом размеров алфавитно-цифровых знаков и символов.

Конструкция рабочего стола должна обеспечивать оптимальное размещение на рабочей поверхности используемого оборудования с учетом его количества и конструктивных особенностей, характера выполняемой работы. При этом допускается использование рабочих столов различных конструкций, отвечающих современным требованиям эргономики. Поверхность рабочего стола должна иметь коэффициент отражения 0,5-0,7.

Конструкция рабочего стула (кресла) должна обеспечивать поддержание рациональной рабочей позы при работе на ПЭВМ, позволять изменять позу с целью снижения статического напряжения мышц шейно-плечевой области и спины для предупреждения развития утомления. Тип рабочего стула (кресла) следует выбирать с учетом роста пользователя, характера и продолжительности работы с ПЭВМ.

Рабочий стул (кресло) должен быть подъемно-поворотным, регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки от переднего края сиденья, при этом регулировка каждого параметра должна быть независимой, легко осуществляемой и иметь надежную фиксацию.

Поверхность сиденья, спинки и других элементов стула (кресла) должна быть полумягкой, с нескользящим, слабо электризующимся и воздухопроницаемым покрытием, обеспечивающим легкую очистку от загрязнений.

4.4 Заключение по разделу «Социальная ответственность»

Рабочее помещение должно соответствовать всем требованиям техники безопасности, приемлемым условиям охраны труда. При нарушении данных требований могут возникнуть такие неблагоприятные и опасные ситуации, как: взаимодействие с электрооборудованием, шумоизоляцией. Освещение в лаборатории комбинированного типа, то есть присутствует как естественное, так и искусственное освещения. Расчет искусственного освещения показал,

что рабочее помещение соответствует нормам, а также является приемлемым для проведения научных исследований, исключая неблагоприятные последствия здоровья сотрудников (перенапряжение глаз).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог, можно заключить, что свёрточные нейронные сети (особенно архитектура «Inception») обладают большим потенциалом для определения обстановок осадконакопления по каротажным данным. Однако, на текущей стадии модели недостаточно хорошо справляются с определением обстановок осадконакопления по реальным каротажным кривым, потому что модели были натренированы на синтетических кривых, представляющие собой идеализированные формы, которые крайне редко встречаются в реальной жизни.

На текущий момент трудно численно определить экономическую перспективность проекта, однако, уже сейчас можно сказать, что подобный программный продукт существенно сократит время на обработку каротажных данных.

Что касается предложений по улучшению результата, в первую очередь необходимо добавить в обучающую выборку реальные каротажные кривые. По всей видимости, данная работа может быть выполнена только совместно с нефтегазовыми компаниями, которые будут готовы предоставить каротажные данные. Кроме того, функционал разработки может быть дополнен возможностью определения литофаций по каротажным кривым, что сделает разработку более перспективной. Также следует проработать вопрос, касающийся определения обстановок в нескольких скважинах (например, если в одной скважине была определена эоловая дюна, вероятность нахождения этой же обстановки должна возрастать по сравнению с другими при условии приемлемого расстояния между скважинами, глубинами, на которых были определены обстановки, и т.д.)

Таким образом, имеет смысл продолжать разработку, рассмотренную в данной работе.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ГОСТ Р 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
2. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов (с Изменением N 1)
3. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Общие требования (с Изменением №1).
4. ГОСТ 12.4.009-83 ССБТ. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание (с Изменением №1).
5. ГОСТ 12.1.003-83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
6. ГОСТ 12.1.019 (с изм. №1) ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
7. ГОСТ ИЕС 61140-2012 Защита от поражения электрическим током. Общие положения безопасности установок и оборудования (с Поправкой).
8. ГОСТ 17187-81. Шумомеры. Общие технические требования и методы.
9. СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
10. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
11. СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение (с Изменением №1).
12. Федеральный закон РФ от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ «О специальной оценке условий труда».
13. Федеральный Закон Российской Федерации от 22 июля 2008 г. N 123-ФЗ Технический регламент о требованиях пожарной безопасности.
14. Белозёров В.Б. Влияние фациальной неоднородности терригенных коллекторов на разработку залежей углеводородов. Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2011

15. Белозёров В.Б., Разин А.В. Модель косослоистого строения верхнеюрского резервуара Игольского месторождения и особенности его разработки // Вестник ВНК. – Томск, 1998. – Вып. 1. – С. 25 – 29.
16. Градзиньский Р., Костецкая А., Радомский А. и др. Седиментология. Пер. с польского. – М.: Недра, 1980. – 646 с.
17. Кузьмина Е.А, Кузьмин А.М. Методы поиска новых идей и решений "Методы менеджмента качества" №1 2003 г.
18. Мазур И.И., Шапиро В.Д., Ольдерогге Н.Г. Управление проектами: Учебное пособие. – М.: Омега-Л, 2004. – 664 с.
19. Мастрюков Б.С. Безопасность в чрезвычайных ситуациях в природно-техногенной сфере. Прогнозирование последствий: учебное пособие / Б. С. Мастрюков. — Москва: Академия, 2011. — 368 с.
20. Муромцев В.С. Электрометрическая геология песчаных тел - литологических ловушек нефти и газа. Недра, Ленинград, 1984 г., 260 стр., УДК: 550.8
21. Назаренко О.Б. Безопасность жизнедеятельности. Расчет искусственного освещения. Методические указания к выполнению индивидуальных заданий для студентов дневного и заочного обучения всех направлений и специальностей ТПУ. – Томск: Изд. ТПУ, 2008. – 20 с.
22. Нежданов А.А. Типы карбонатных конкреций и их роль в изучении нефтегазоносных толщах Западной Сибири // Конкреционный анализ углеродсодержащих формаций. – Тюмень, 1995. – Вып. 201. – С. 95 – 102.
23. Руководство к своду знаний по управлению проектами (Руководство РМВОК), 4-е издание, 2008 г.
24. Alumentations [<https://github.com/alumentations-team/alumentations>].
25. Image Augmentations [<https://github.com/aleju/imgaug>].
26. Adeel N., Shabeer A., Sarfraz H. «Sedimentary facies interpretation of Gamma Ray (GR) log as basic well logs in Central and Lower Indus Basin of Pakistan», geodesy and geodynamics 2016, vol 7 no 6, 432e443.

27. Al-Dajani A. F., Burns D., Toksoz M. N, Saggaf M. «Aeolian and Fluvial Depositional Systems Discrimination in Wireline Logs Unayzah Formation, Central Saudi Arabia» SEG Annual Meeting. 2000.
28. Alom M. Z., Hasan M., Yakopcic C. and etc. «Inception Recurrent Convolutional Neural Network for Object Recognition» Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2017.
29. Belozarov B., Bukhanov N., Egorov D., Zakirov A. and etc. «Automatic Well Log Analysis Across Priobskoe Field Using Machine Learning Methods» Conference: SPE Russian Petroleum Technology Conference. 2018.
30. Bestagini P., Lipari V., Tubaro S. «A Machine Learning Approach to Facies Classification Using Well Logs» SEG International Exposition and Annual Meeting. 2017.
31. Bize-Forest N., Lima L., Baines V., Boyd A. «Using machine-learning for depositional facies prediction in a complex carbonate reservoir» SPWLA 59th Annual Logging Symposium. 2018.
32. Brazell S., Bayeh A., Ashby M., Burton D. «A Machine-Learning-Based Approach to Assistive Well-Log Correlation» Petrophysics. 2019.
33. Brownlee J.: «Master Machine Learning Algorithms», 2016.
34. Cant D. «Subsurface Facies Analysis», Geological Survey of Canada, 1992.
35. Chevitaese1 D., Szwarcman1 D., Silva1 R. M. D. «Transfer Learning Applied to Seismic Images Classification» Search and Discovery Article. 2018.
36. Dubois M. K., Bohling G. C., Chakrabarti S. «Comparison of four approaches to a rock facies classification problem» Computers & Geosciences. 2007.
37. Dunham M. W., Malcolm A., Welford J. K. «Improved well log classification using semi-supervised algorithms» Conference: SEG Technical Program Expanded Abstracts. 2019.
38. Gkortsas V., Liang L. «Automatic electrofacies classification from well logs» Conference: SEG Technical Program Expanded Abstracts. 2019.
39. Hall B. «Facies classification using machine learning» The Leading Edge. 2016.

40. Hall M., Hall B.: «Distributed collaborative prediction: Results of the machine learning contest» *The Leading Edge*. 2017.
41. Howard A., Zhu M., Chen B., Kalenichenko D. and etc. «MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications» *ArXiv*. 2017
42. Jobe T.D., Brazil E V., Khait M. «Geological feature prediction using image-based machine learning» *Petrophysics*. 2018.
43. Kaiming H., Zhang X., Ren S., Sun J. «Deep residual learning for image recognition» In *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, pp. 770-778. 2016.
44. Maniar H., Ryali S., Kulkarni M. S., Abubakar A. «Machine learning methods in Geoscience» *Conference: SEG Technical Program Expanded Abstracts*. 2018.
45. Mei J., Peng S. «Sedimentary Microfacies Identification Using Principal Component Analysis and Neural Network Based on Genetic Algorithm» *Fourth International Symposium on Computational Intelligence and Design*. 2011.
46. Saner S., Cagatay M. and etc. «Relationship between shale content and grain-size parameters in the Safania sandstone reservoir, NE Saudi Arabia», *Journal of Petroleum Geology*, vol. 19(3), 1996, pp. 305-320.
47. Selley R. «Concepts and Methods of Subsurface Facies Analysis», *American Association of Petroleum Geologists*, Volume 9, 1978.
48. Snøtun H. «Using Machine Learning to Create Data» *Offshore Technology Conference*. 2018.
49. Wang D., Peng J., Yu Q., Chen Y., Yu H. «Support Vector Machine Algorithm for Automatically Identifying Depositional Microfacies Using Well Logs» *Sustainability*. 2019.

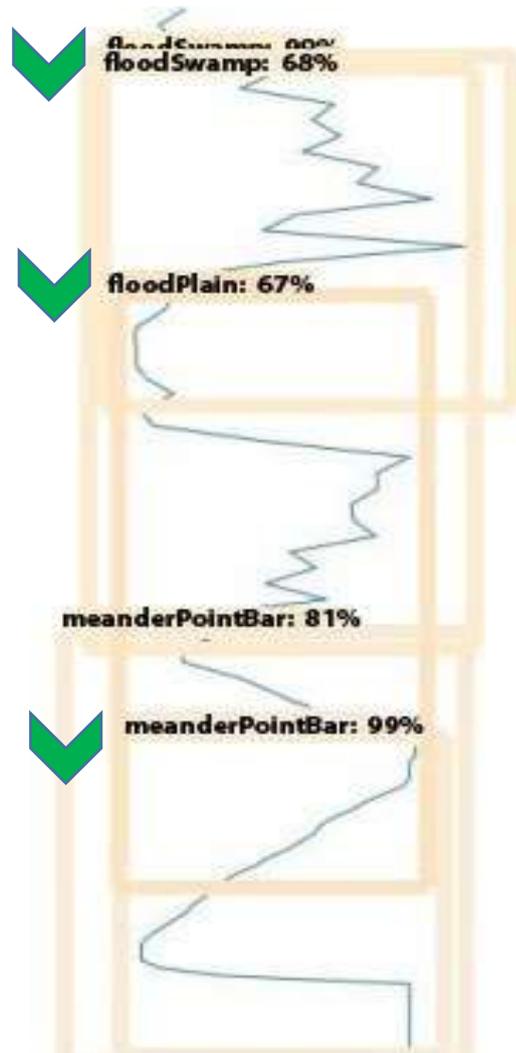


Рисунок А.1 – Результат тестирования модели «Inserption»

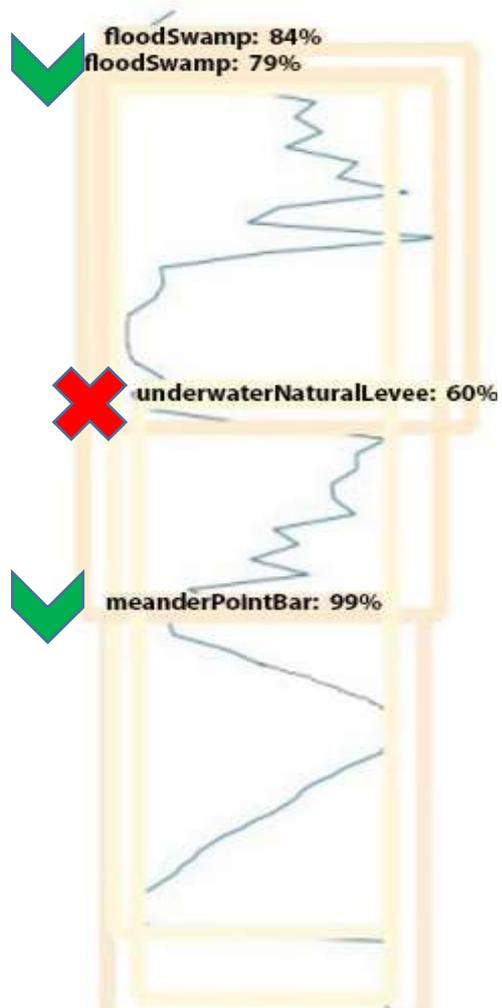


Рисунок А.2 – Результат тестирования модели «ResNet»

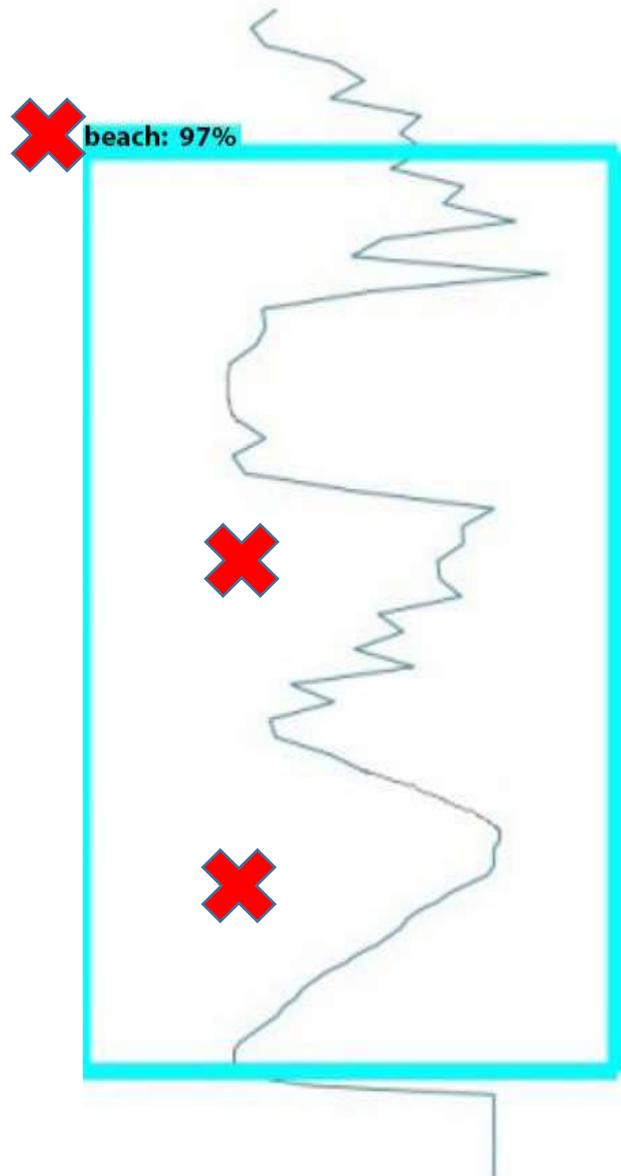


Рисунок А.3 – Результат тестирования модели «Mobilenet»

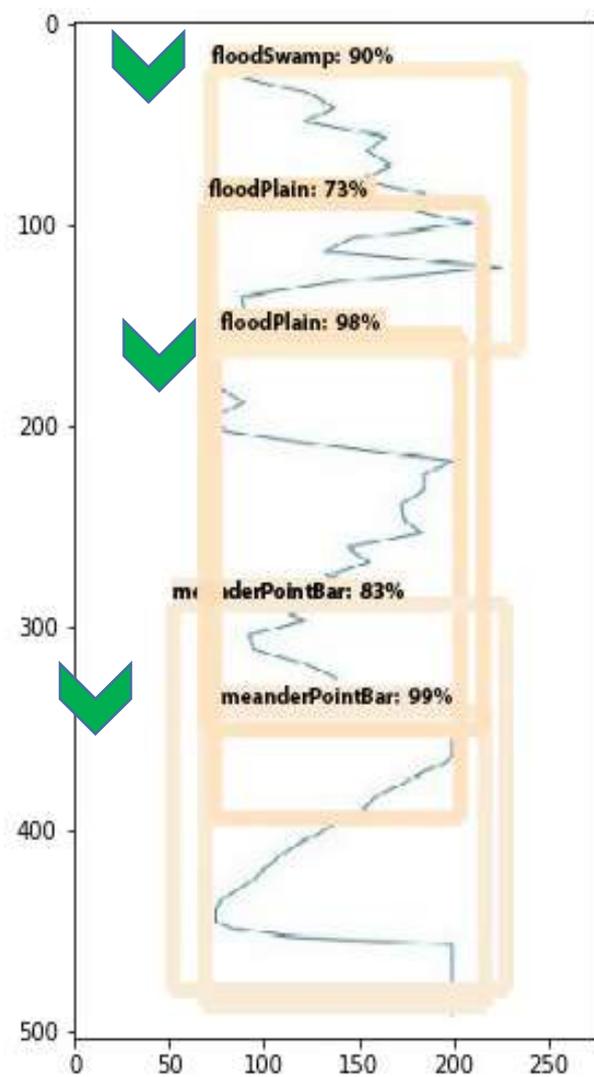


Рисунок А.4 – Уменьшение высоты изображения

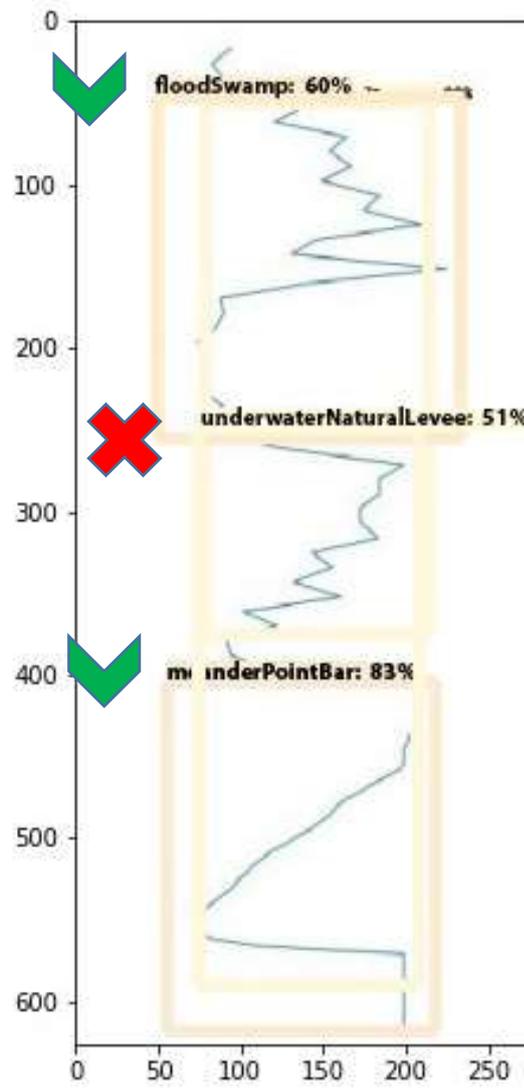


Рисунок А.5 – Увеличение высоты изображения

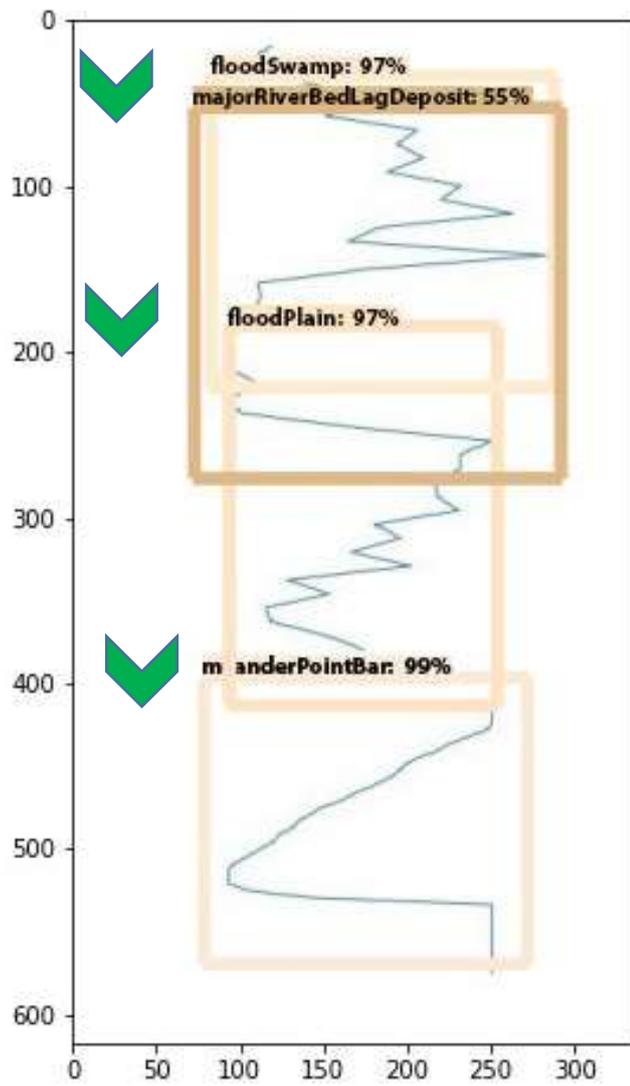


Рисунок А.6 – Увеличение ширины изображения

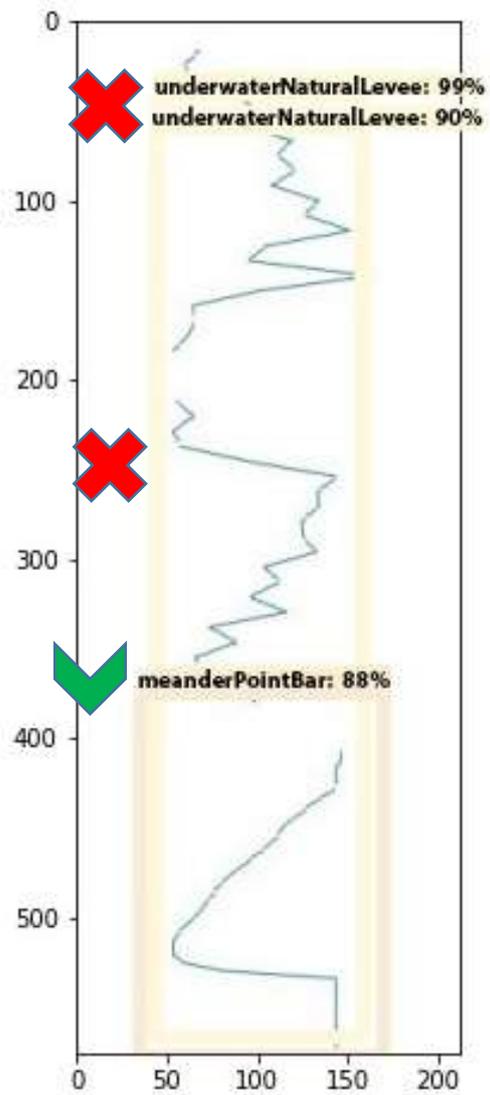


Рисунок А.7 – Уменьшение ширины изображения

**Automation of depositional environment detection on logging curves
of Cretaceous strata and assessment of its significance for field development**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ81	Бурдин Алексей Валерьевич		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД	Меркулов В.П.	к.г.-м.н.		

1 Detection of Depositional Environments using logging data

1.1 Data Preparation

In order to train models carefully training dataset, that consists of at least 200 images of gamma ray curves for each class, must be generated. Internet searching did not allow to create training dataset of necessary size, so that in order to simplify the task it was decided to create synthetic gamma ray curves.

Synthetic curves were based on works [25, 34, 47]. All 15 generated classes for models training are depicted in Figure B.1.

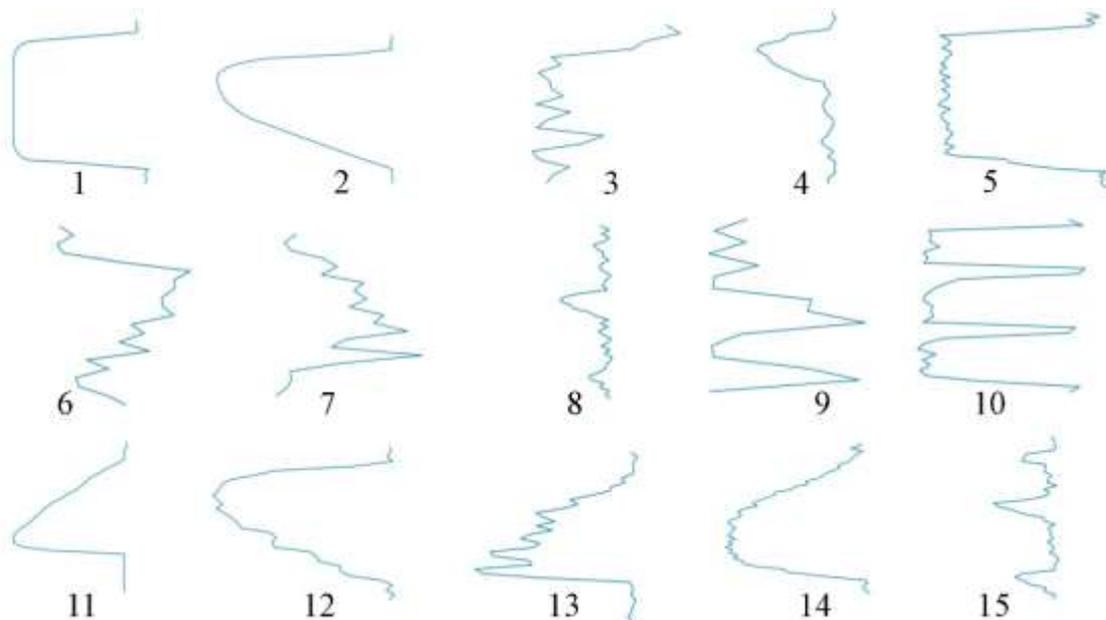


Figure B.1 – Generated classes: 1 – Aeolian Dune, 2 – Beach, 3 – Crevasse River Channel Bar, 4 – Distal Bar; 5 – Distributary Channel, 6 – Flood Plain, 7 – Flood Swamp, 8 – Interdistributary Estuary, 9 – Major River Bed Lag, 10 – Major River Channel Bar, 11 – Meander Point Bar, 12 – Mouth Bar, 13 – Proximal Deepsea Fan, 14 – Underwater Distributary Channel, 15 – Underwater Natural Levee

The number of classes (15) was chosen as a compromise between diversity of depositional environments known to models and acceptable training time of models, because the greater the number of classes, the greater training time.

The output synthetic data is pictures, which size is 320x240 pp, saved in format «.jpg», that can be explained by training requirements (that image size was chosen due to the fact that the speed of image convolution is greater in case of large images, furthermore, such format was chosen due to the fact that images in dataset

must have only 3 channels, whereas another popular format «.png» can have additional channel, which can lead to errors during training). Moreover, each picture has its annotation file, in which picture size, object class and its position in a picture are described, so that using such annotation models are demonstrated which classes (its shape and name) must be remembered by models.

Afterwards, in order to enlarge training dataset the cycle, in each iteration of which every single point of a curve could hesitate in a range of $\pm 2\%$ using random generator. The range of $\pm 2\%$ is the most appropriate range, which allowed to get different pictures, but save the general shape of curves. Using such approach 200 pictures of each class (Figure B.2) were generated (overall number of generated pictures is 3000).

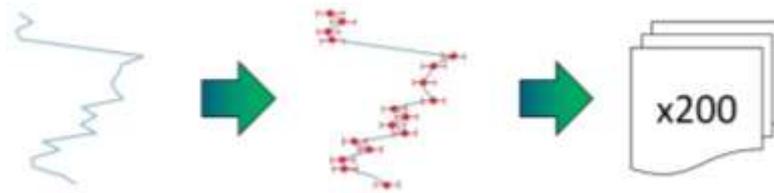


Figure B.2 – Curve generation scheme

It is possible to improve the ability of models to correctly identify classes in images by expanding the training set (data augmentation). As already noted, the larger the training dataset, the more time must be spent on training the models, however, the quality of the result is the primary goal. The training set can be supplemented with images in which some classes are depicted against the background of other classes. For this purpose, images in which combinations of several classes are depicted, created in the previous step, were generated, taking into account the principle of geological certainty. In total, 5 combinations were generated (for convenience, they can be called superclasses), each of which consists of 3 ordinary classes. Superclasses are shown in Figure B.3.

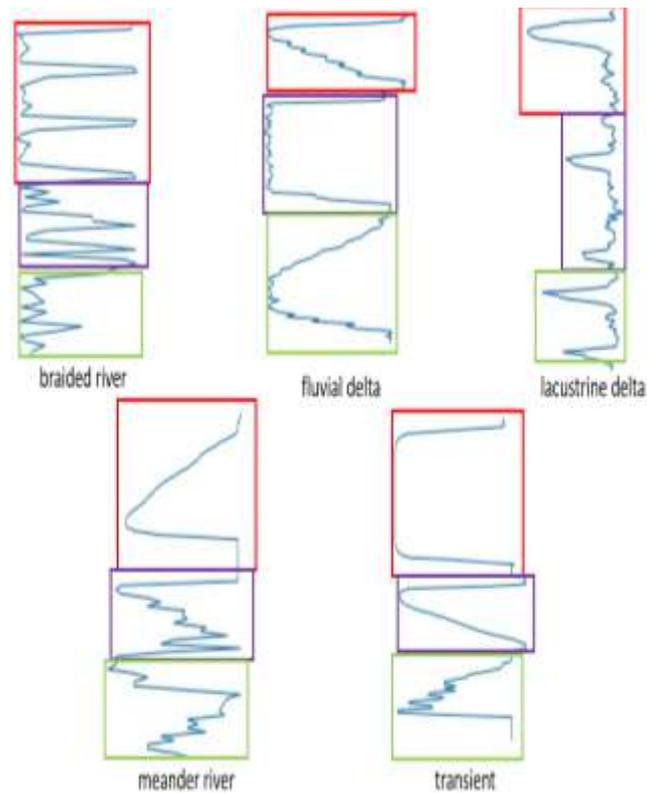


Figure B.3 – Superclasses: Braided River – Crevasse River Channel Bar, Major River Bed Lag, Major River Channel Bar (bottom-up); Fluvial Delta – Underwater Distributary Channel, Distributary Channel, Mouth Bar; Lacustrine Delta – Interdistributary Estuary, Underwater Natural Levee, Distal Bar; Meander River – Flood Plain, Flood Swamp, Meander Point Bar; Transient – Proximal Deepsea Fan, Beach, Aeolian Dune

As with regular classes, the superclass images have been multiplied using a random number generator.

Furthermore, the training dataset can be supplemented with images that have undergone some graphical distortions (rotation, blur, etc.) to increase the ability of the models to correctly identify classes, the forms of which may differ greatly from those used in training (which is what happens when solving real tasks). For this purpose, two functions of augmentation were used [24, 25]. The first function is the Perspective function, which changes the perspective of the image, and the second is the PiecewiseAffine function, which distorts the image grid. Examples of application of the mentioned functions of augmentation are shown in Figure B.4.

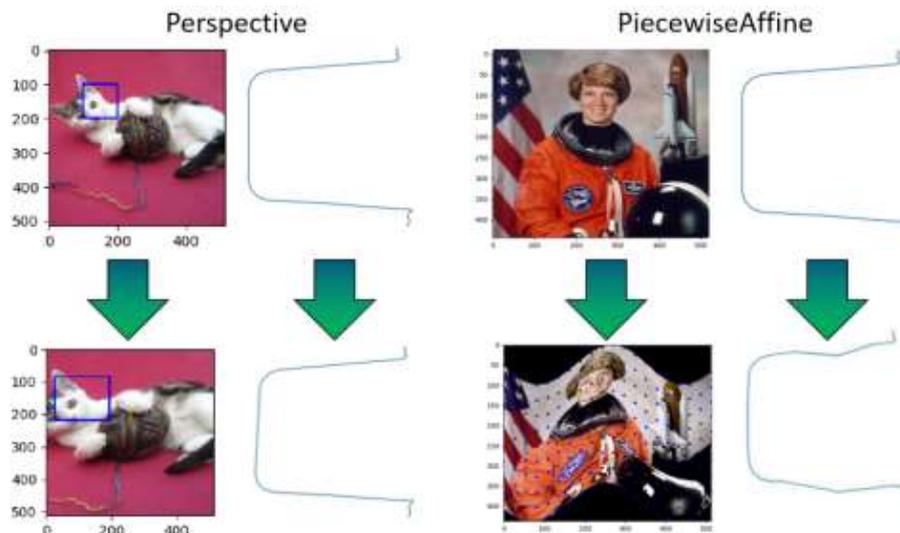


Figure B.4 – Augmentation functions

After the described steps, the training dataset increased from 3000 to 20,000 images. This size of the training dataset can be considered acceptable for obtaining the first results.

The fact that this work uses synthetic GR curves instead of real data leads to the following problem: real GR curves may differ from synthetic GR curves. However, within the framework of this work, the possibility of creating a product that is capable of recognizing sedimentation environments on the GR curves is investigated, and not a finished product, therefore, within the framework of such a goal, it is acceptable to train models on synthetic GR curves and test the models also on synthetic data. In addition, due to the use of data augmentation, which improves the quality of class definitions, some results when testing models on real data can be expected.

1.2 Model Training

Nowadays, most of Data Scientists use two programming languages: R and Python. Of course, other programming languages can be used too, but R and Python are more comfortable for non-programmers. Furthermore, Python community

created big number of libraries for Machine Learning that makes training process easy. That is why in this project Python (v. 3.7) was used as programming language.

There are a lot of framework for Machine Learning: PyTorch, Keras, Tensorflow and etc. In this project Tensorflow was used as it is more popular and more reliable.

The main criteria of training is loss value. In this project it was decided to stop training when previous 10 loss values are less than 0.05 (5 %). Using this rule “Inception” was stopped at 60,026 step, “ResNet” was stopped at 60,039 step and “Mobilenet” was stopped at 114,050 step. Each step during learning “Inception” and “ResNet” took 1.35 sec/step, whereas for “Mobilenet” – 0.69 sec/step. So that, training of “Inception” took 22.51 hours, “ResNet” – 22.51 hours, “Mobilenet” – 19.96 hours.

Training process requires a lot of hardware power. For example, training on local hardware (Processor: AMD Ryzen 5 3550H; Videocard: AMD RX560X) took around one week that is unacceptable in current conditions. Therefore, it was decided to use Google Collaboration that provides remote access to powerful hardware. Using Google Collaboration training took around one day that is acceptable in current conditions.

1.3 Tests

In order to estimate results, several tests were performed after training process.

The first test is detection of a single class in a picture of single synthetic class.

The second test is detection of three classes in a picture of combined three synthetic curves taking into account geological processes. For example, there is Meander River and we are interested in that point (marked by red cross) where now Point Bar is located as it is depicted in Figure B.6.

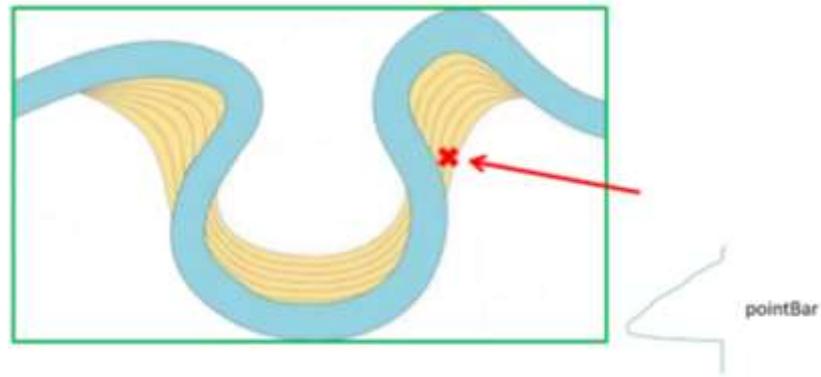


Figure B.1 – The second test, part 1

Let us suppose that then the part of river was cut off as it is depicted in Figure B.7.

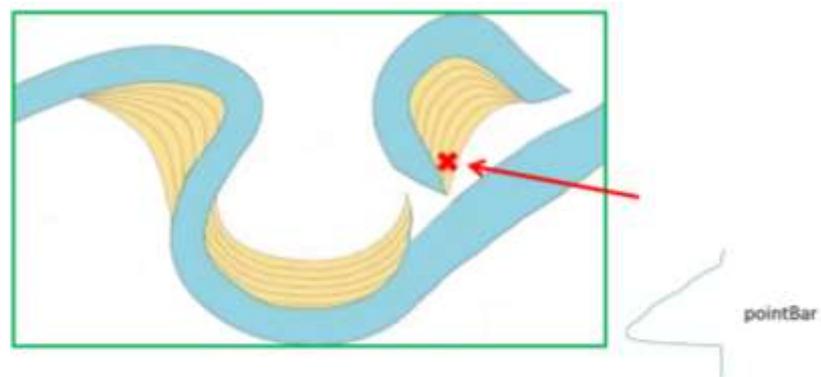


Figure B.2 – The second test, part 2

Afterwards, flooding occurred and in marked point Flood Plain is located as it is depicted in Figure B.8.

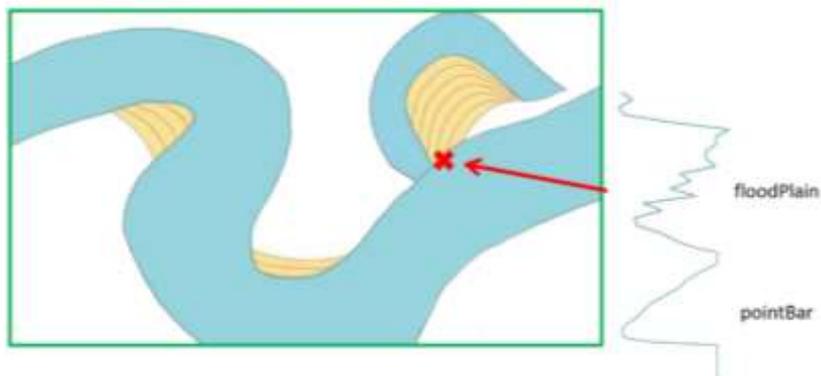


Figure B.3 – The second test, part 3

When flooding finished, let us suppose, at marked point Flood Swamp is located as it is depicted in Figure B.9.

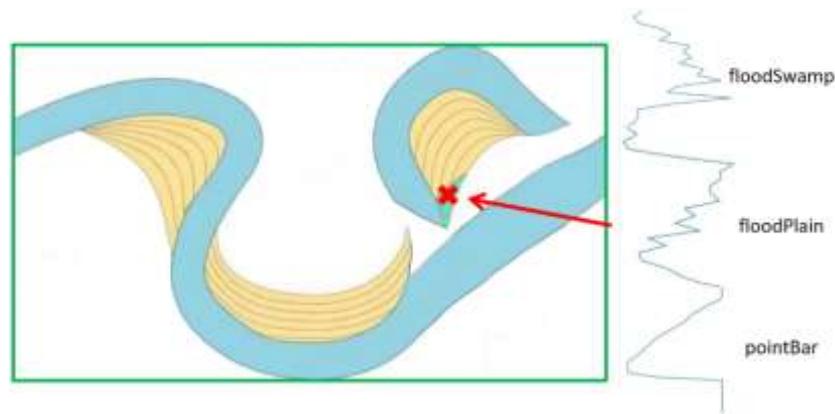


Figure B.4 – The second test, part 4

Final curve was used in the second test.

The third test is detection of classes in several pictures of combined three synthetic curves, related with three different wells. For example, we have three points (marked by red crosses) in which we are interested (Figure 10). These points have its coordinates and some geological history: in «w1» Beach is located now, but in the past there was Aeolian Dune; in «w2» Mouth Bar is followed by Distributary Channel, in «w3» Point Bar is located now, but in the past there was Flood Plain.

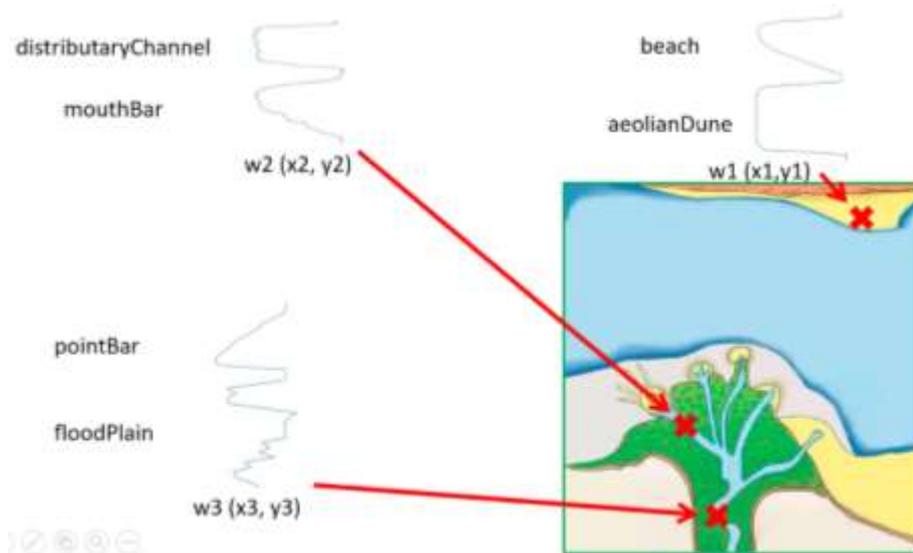


Figure B.5 – The third test, part 1

Let us imagine transgression occurred further and all three points got addition sea class (Deepsea Fan) as it is depicted in Figure B.11.

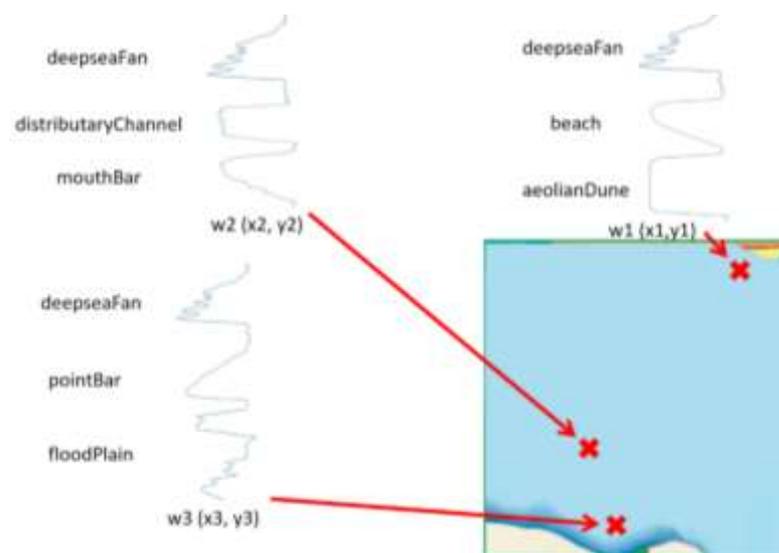


Figure B.6 – The third test, part 2

Furthermore, spatial relationship between wells must be visualized.

The fourth test is detection of classes in the picture of horizon PK1-3 (Pokur formation). It is known that PK1-3 was deposited in tidal-dominated delta.

1.4 Results discussion

As it was expected, models easily detect a class in a picture of a single synthetic class with accuracy of ~ 99 % as it is depicted in Figure B.12.

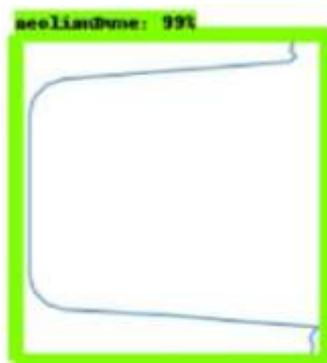


Figure B.7 – The first test result

As for the second test, «Inception» found all three classes correctly, «ResNet» found only 2 classes correctly and «Mobilenet» did not found none of 3 classes as it is depicted in Figures A.1, A.2, A.3.

Especially for the third task, the script, which visualize found classes, prediction scores, wells and distances between them, was typed as it is depicted in Figure B.13

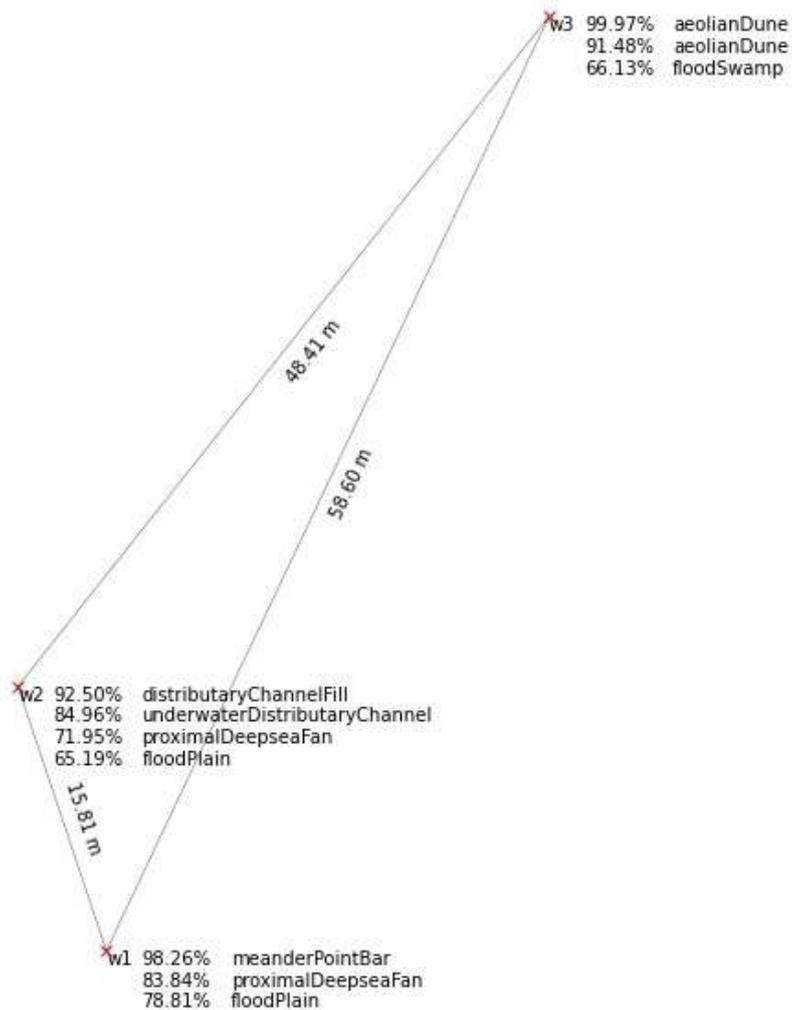


Figure B.8 – The third test result

«Inception» as the most successful architecture, according to previous test, found only two classes in the picture of horizon PK1-3 (Pokur formation) correctly as it is depicted in Figure B.14.

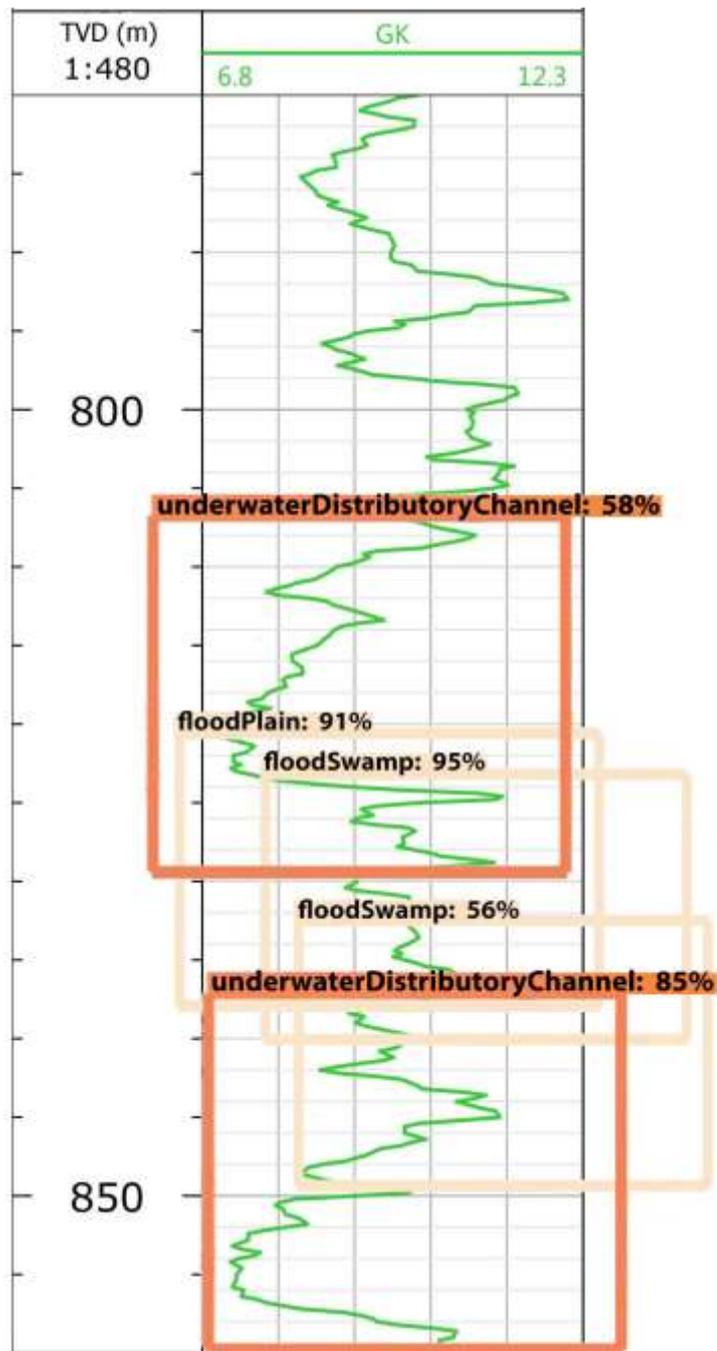


Figure B.9 – Fourth test result

Thus, after the model has indicated the expected sedimentation environment (tidal Delta), development specialists can think of some development points related to the sedimentation environment. For example, sand bodies in this environment are formed in the process of lateral build-up, so you should expect the presence of impenetrable screens between different-aged sandstones, so you should think about hydraulic fracturing and horizontal wells. Besides, reservoirs formed in the tidal

Delta are characterized by an ordered (wedge-shaped) stratification, which is why flooding is preferable to carry out on the fall of the interlayers.

1.5 Reshape influence

Due to the fact that in this project GR curves are treated as images, image reshape can influence interpretation of depositional environment. So that, it must be examined how height increase, height decrease, width increase and width decrease influence results.

Reshape test was performed on results of «Inception» model. Before any resizes all three classes were found correctly. After height decrease all three classes still were detected, after height increase two out of three classes were found correctly, after width increase all three classes were detected correctly, but after width decrease only one class was found correctly as it is depicted in Figures A.4, A.5, A.6, A.7.