

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов  
Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело  
Отделение школы (НОЦ) ОНД

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

| Тема работы  |
|--|
| <b>СИНТЕЗИРОВАНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ КАРОТАЖНЫХ КРИВЫХ С ПОМОЩЬЮ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ</b> |

УДК 550.832:004.9

Студент

| Группа | ФИО                             | Подпись | Дата       |
|--------|---------------------------------|---------|------------|
| 2ТМ61  | Иванцов Александр Александрович |         | 13.08.2018 |

Руководитель ВКР

| Должность                   | ФИО                       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Ведущий эксперт ЦППС НД ТПУ | Меркулов Виталий Павлович | К.Г.-М.Н.              |         |      |

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

| Должность | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------|----------------|------------------------|---------|------|
| Профессор | Белозеров В.Б. | Д.Г.-М.Н.              |         |      |

По разделу «Социальная ответственность»

| Должность                   | ФИО                       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------|---------|------|
| Ведущий эксперт ЦППС НД ТПУ | Меркулов Виталий Павлович | К.Г.-М.Н.              |         |      |

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

| Руководитель ООП            | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата |
|-----------------------------|--------------|------------------------|---------|------|
| Ведущий эксперт ЦППС НД ТПУ | Чернова О.С. | К.Г.-М.Н.              |         |      |

## ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ

| Код       | Результат обучения   |
|-----------|--|
| <b>Р1</b> | 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  |
| <b>Р2</b> | 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   |
| <b>Р3</b> | Проявлять профессиональную осведомленность о передовых знаниях и открытиях в области нефтегазовых технологий с 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 |
| <b>Р4</b> | 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                                       |
| <b>Р5</b> | 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  |
| <b>Р6</b> | 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   |
| <b>P7</b>  | Внедрять, эксплуатировать и об-служивать современные машины и механизмы для реализации техно-логических процессов нефтегазовой области, обеспечивать их высокую эффективность, соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда, выполнять требования по защите окружающей среды |
| <b>P8</b>  | Предлагает процедуры анализа и оценки геологических объектов по данным геолого-геофизи-ческой изученности и скважинных исследований в целях разработки программы исследований и технологических мероприятий для конкретного типа месторождений углеводородов                           |
| <b>P9</b>  | Предлагать процедуры оценки эффективности промысловых работ и оптимизации работы оборудования при добыче нефти, газа и газового конденсата, обеспечение энергоэффективности технологических процессов  |
| <b>P10</b> | Обеспечивать внедрение новых методов при построении геолого-геофизических моделей; материалов и нефтегазового оборудования в осложненных условиях эксплуатации нефтяных и газовых скважин  |
| <b>P11</b> | Контролировать выполнение требований регламентов для обеспечения добычи нефти, газа и газового конденсата  |
| <b>P12</b> | Совершенствовать, разрабатывать мероприятия и/или подготавливать бизнес-предложения по технологическому процессу и технологическим мероприятиям при добыче нефти, газа и газового конденсата   |
| <b>P13</b> | Корректировать программы работ по добыче нефти, газа и газового конденсата, выбирать и принимать решения в нестандартных ситуациях, опираясь на государственные стандарты в области нефтегазодобычи  |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело  
 Отделение школы (НОЦ) ОНД

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

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

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

В форме:

|                          |
|--------------------------|
| Магистерской диссертации |
|--------------------------|

Студенту:

| Группа | ФИО                             |
|--------|---------------------------------|
| 2ТМ61  | Иванцов Александр Александрович |

Тема работы:

|   |                     |
|---|---------------------|
| Синтезирование и восстановление каротажных кривых с помощью алгоритмов машинного обучения |                     |
| Утверждена приказом директора (дата, номер)   | 08.08.2018, №7260/с |

|  |            |
|--|------------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 13.08.2018 |
|--|------------|

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

|   |  |
|---|--|
| <b>Исходные данные к работе</b>   | <b>Материалы</b><br><br>Геофизические данные 3D геологической модели Шестаковского комплекса, Крапивинского месторождения.   |
| <b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов .</b> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Возможность синтезирования кривых ГИС алгоритмами машинного обучения;</li> <li>2. Анализ устойчивости синтетического каротажа;</li> <li>3. Анализ чувствительности точности предсказания в зависимости от объема тренировочной выборки данных;</li> <li>4. Оценка точности прогноза кривых ГИС за</li> </ol> |

|   |  |
|---|--|
|   | пределами объекта исследования.  |
| <b>Перечень графического материала</b>  | Карта с координатами расположения устья и забоев Крапивинского месторождения.<br><br>Приложения А, С, Ж,З,И и К- графическая иллюстрация синтезированных данных алгоритмами машинного обучения и при помощи эмпирических зависимостей. |
| <b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b>                       |  |
| <b>Раздел</b>   | <b>Консультант</b>   |
| <b>Машинное обучение</b>  | Сливкин С.С.   |
| <b>Петрофизика</b>  | Меркулов В.П.  |
| <b>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение</b>                  | Белозеров В.Б.   |
| <b>Социальная ответственность</b>   | Меркулов В.П.  |
| <b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b> |  |
| Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение                         |  |
| Социальная ответственность  |  |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b> | 27.06.2018 |
|---|------------|

**Задание выдал руководитель:**

| Должность                   | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|-----------------------------|---------------|------------------------|---------|------------|
| Ведущий эксперт ЦППС НД ТПУ | Меркулов В.П. | к.г.-м.н               |         | 27.06.2018 |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО          | Подпись | Дата       |
|--------|--------------|---------|------------|
| 2ТМ61  | Иванцов А.А. |         | 27.06.2018 |

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

Студенту:

|        |                                 |
|--------|---------------------------------|
| Группа | ФИО                             |
| 2ТМ61  | Иванцов Александр Александрович |

|                     |         |                           |                              |
|---------------------|---------|---------------------------|------------------------------|
| Школа               | ИШПР    | Отделение школы (НОЦ)     | ОНД                          |
| Уровень образования | Магистр | Направление/специальность | 21.4.01<br>Нефтегазовое дело |

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

|   |  |
|---|--|
| 1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i> | Литературные источники   |
| 2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>   | Материалы методических указаний  |
| 3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>                                  | Сборник сметных норм геологических работ ССН. Выпуск 7-М.: ВИЭМСб 1992.-360 с. |

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

|  |   |
|--|---|
| 1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>   | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение |
| 2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>  | Расчет труда по видам работ и затрат времени                    |
| 3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i> | Нормы расхода материалов  |
| 4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>   | Расчет сметной стоимости  |

|   |            |
|---|------------|
| <b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b> | 27.06.2018 |
|---|------------|

**Задание выдал консультант:**

|           |                |                        |         |            |
|-----------|----------------|------------------------|---------|------------|
| Должность | ФИО            | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
| Профессор | Белозеров В.Б. | д.г.-м.н               |         | 27.06.2018 |

**Задание принял к исполнению студент:**

|        |              |         |            |
|--------|--------------|---------|------------|
| Группа | ФИО          | Подпись | Дата       |
| 2ТМ61  | Иванцов А.А. |         | 27.06.2018 |

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

|               |                                 |
|---------------|---------------------------------|
| <b>Группа</b> | <b>ФИО</b>                      |
| 2ТМ61         | Иванцов Александр Александрович |

|                            |             |                                  |  |
|----------------------------|-------------|----------------------------------|--|
| <b>Школа</b>               | <b>ИШПР</b> | <b>Отделение школы (НОЦ)</b>     | <b>Нефтегазовое дело</b>                                   |
| <b>Уровень образования</b> | Магистр     | <b>Направление/специальность</b> | Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений |

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

|  |  |
|--|--|
| <p>1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</li> <li>– негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul> | <p>Рабочее место-Аудитория ЦППС НГ ТПУ 239.<br/>Вредные факторы- некачественное освещение, слабая шумоизоляция и электромагнитные поля.<br/>Опасные факторы- высокое атмосферное давление, пожар.<br/>Негативное воздействие на природную среду- загрязнение литого и гидросферы.<br/>Чрезвычайные ситуации- пожар, химическое отравление.</p> |
| <p>2. Перечень законодательных и нормативных документов по теме</p>  | <p>«Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности».</p>   |

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

|  |  |
|--|--|
| <p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul> | <p>Выделение вредных факторов при проведении ГИС.<br/>Анализ воздействия вредных факторов на организм работника при проведении ГИС.<br/>Анализ физико-химических норм при проведении геофизических исследований.</p> |
|--|--|

|  |   |
|--|---|
| <p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>– пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul> | <p>Выделение и оценка воздействия:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-механических;</li> <li>-электрических;</li> <li>-термических;</li> <li>-пожароопасных источников опасности и требуемые средства защиты.</li> </ul> |
| <p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– защита селитебной зоны</li> <li>– анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>– анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>– разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>   | <p>Оценка воздействия на окружающую среду, почву, воздух, грунтовые воды, при проведении геофизических исследований скважин.<br/>Характеристика источников образования отходов.<br/>Комплекс мер по охране окружающей среды.</p>  |
| <p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>  | <p>Возможные ЧС: пожары, взрывы, отравления вредными веществами.</p>  |
| <p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</li> </ul>  | <p>Меры безопасности при эксплуатации производственных объектов.</p>  |

|  |            |
|--|------------|
| Дата выдачи задания для раздела по линейному графику | 27.06.2018 |
|--|------------|

**Задание выдал консультант:**

| Должность                   | ФИО                       | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|-----------------------------|---------------------------|------------------------|---------|------------|
| Ведущий эксперт ЦППС НД ТПУ | Меркулов Виталий Павлович | к.г.-м.н               |         | 27.06.2018 |

**Задание принял к исполнению студент:**

| Группа | ФИО                             | Подпись | Дата       |
|--------|---------------------------------|---------|------------|
| 2ТМ61  | Иванцов Александр Александрович |         | 27.06.2018 |

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Школа Инженерная школа природных ресурсов  
 Направление подготовки 21.04.01 Нефтегазовое дело  
 Уровень образования Магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) ОНД  
 Период выполнения (осенний / весенний семестр 2017/2018 учебного года)

Форма представления работы:

|                          |
|--------------------------|
| магистерская диссертация |
|--------------------------|

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

|  |          |
|--|----------|
| Срок сдачи студентом выполненной работы: | 13.08.18 |
|--|----------|

| Дата контроля | Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)           | Максимальный балл раздела (модуля) |
|---------------|---|------------------------------------|
| 12.07.18      | Общая часть   | 16                                 |
| 15.07.18      | Петрофизические основы проекта                                  | 16                                 |
| 25.07.18      | Машинное обучение   | 16                                 |
| 27.07.18      | Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение | 16                                 |
| 02.08.18      | Социальная ответственность                                      | 16                                 |
| 05.06.18      | Оформление текста   | 10                                 |

Составил преподаватель:

| Должность                      | ФИО           | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|--------------------------------|---------------|------------------------|---------|------------|
| Ведущий эксперт<br>ЦППС НГ ТПУ | Меркулов В.П. | к.г.-м.н               |         | 27.06.2018 |

**СОГЛАСОВАНО:**

| Руководитель ООП               | ФИО          | Ученая степень, звание | Подпись | Дата       |
|--------------------------------|--------------|------------------------|---------|------------|
| Ведущий эксперт<br>ЦППС НД ТПУ | Чернова О.С. | к.г.-м.н               |         | 27.06.2018 |

## РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация с.109, рис.22, табл.12 и 23 источника.

Ключевые слова: ГИС, машинное обучение, алгоритм случайного леса, нейронная сеть, акустический каротаж, плотностной каротаж.

Объектами исследования являются: каротажные диаграммы синтетических скважин 3D геологической модели Шестаковского комплекса и продуктивных интервалов юрских отложений Крапивинского месторождения.

В процессе исследования сформировано признаковое пространство для восстановления данных ГИС, синтезированы кривые плотностного и акустического каротажа алгоритмами машинного обучения и эмпирическими уравнениями на данных Шестаковского комплекса и Крапивинского месторождения, произведен анализ результатов.

В результате исследования установлено: алгоритмы машинного обучения дают лучший прогноз данных в сравнении с эмпирическими зависимостями, также отмечается, что алгоритм случайного леса менее восприимчив к выбросам и шумам присутствующих в исходном комплексе ГИС.

Степень внедрения: количественно оценена эффективность применения алгоритмов машинного обучения при прогнозировании данных ГИС.

Экономическая эффективность: установлено, что внедрение машинного обучения в процесс восстановления данных ГИС экономически целесообразно ввиду значительного снижения затрат, связанных с получением недостающей информации.

## АННОТАЦИЯ

*Ключевые слова:* геофизические исследования, машинное обучение, эмпирические зависимости, синтез данных, эксплуатационный фонд.

Объектом исследования является акустические и плотностные кривые, синтезированные при помощи алгоритмов машинного обучения.

Цель работы - создание универсального инструмента синтеза данных ГИС. Предлагается восстанавливать недостающие геофизических данные при помощи алгоритмов машинного обучения, а именно с применением нейронных сетей (НС) и случайного леса (СЛ). Синтез данных осуществляется с помощью пакетов прикладных программ Python, Orange, Anaconda, Techlog Schlumberger и Microsoft office.

Полученные результаты имеют высокую степень корреляции с эталонной выборкой данных, тем самым подтверждая эффективность использования данной методики на практике. Использование алгоритмов машинного обучения для задач предсказания данных ГИС как на действующем фонде скважин, так и на планирующимся к бурению, способно снизить общие затраты, приходящиеся на выполнение полного спектра геофизических исследований. В результате снижается негативное влияние на окружающую среду и время простоя эксплуатационного фонда, тем самым увеличивается накопленная добыча.

Инновационность работы заключается в использовании вышеперечисленных алгоритмов, при помощи которых возможно вытеснить устаревшие методы восстановления данных ГИС. Степень внедрения - повсеместно. Значимость работы заключается в снижении общих капитальных затрат, формирующихся в процессе разработки месторождения, оптимизации времени получения данных и увеличения общего эффективного периода работы эксплуатационного фонда.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ, СОКРАЩЕНИЯ, ОБОЗНАЧЕНИЯ

ГИС - геофизические исследования скважин;

МО - Машинное обучение;

НС - нейронная сеть;

НК - нейтронный каротаж;

АК - акустический каротаж;

ГК - гамма каротаж;

ТВ - тренировочная выборка данных;

ЭВ - эталонная выборка данных;

ЛР - линейная регрессия;

СЛ - случайный лес;

СПР - сеть прямого распространения;

РСА - principal component analysis;

DTW - dynamic time wrapping;

MAE - Mean absolute error;

RMSE - Root Mean Squared Error;

MSE - Mean Squared Error;

МОП - метод обратного распространения;

ГС - градиентный спуск;

SPE - Specialists of Petroleum Engineering;

КИН - коэффициент извлечения нефти;

ПП - признаковое пространство;

DS - диаметр скважины, мм;

РСА - principal component analysis;

АНПД - аномально низкое пластовое давление;

АВПД - аномально высокое пластовое давление;

РИГИС - результаты интерпретации геофизических исследований скважин;

TVD - True vertical depth;

AUSS - all-Union State Standard;

NKTM - НКТ малый зонд;

NKTR - нейтронный гамма-каротаж;

IKVG - индукционный каротаж разноглубинными зондами, в единицах измерения «град», проводимость;

Density/RHOV - плотностной каротаж;

MPZ - микропотенциал зон;

ИК - Индукционный каротаж;

БК - боковой каротаж;

СанПиН - санитарно-эпидемиологическое нормирование;

ОКЕИ-Общероссийский классификатор единиц измерения.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |    |
|---|----|
| ВВЕДЕНИЕ.....   | 16 |
| 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....  | 17 |
| 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ<br>ИССЛЕДОВАНИЯ.....                   | 19 |
| 3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДАННЫХ ПРИ ПОМОЩИ<br>ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ.....           | 22 |
| 4. ОПИСАНИЕ ОСНОВ И АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО<br>ОБУЧЕНИЯ.....                       | 27 |
| 5. АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ<br>КАРОТАЖНЫХ КРИВЫХ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ..... | 43 |
| 6. ФОРМИРОВАНИЕ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА.....                                  | 45 |
| 7. ТЕСТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ НА ПРОМЫСЛОВЫХ<br>ДАННЫХ.....                        | 46 |
| 8. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СИНТЕЗИРОВАНИЯ.....                                       | 49 |
| 9. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ,<br>РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....      | 55 |
| 10.СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....  | 62 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....   | 69 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....  | 72 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ А.....   | 75 |

|                   |     |
|-------------------|-----|
| ПРИЛОЖЕНИЕ В..... | 76  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ С..... | 77  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Д..... | 79  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Е..... | 80  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Ж..... | 81  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ З..... | 89  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ И..... | 91  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ К..... | 93  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Л..... | 95  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ М..... | 96  |
| ПРИЛОЖЕНИЕ Л..... | 103 |

## ВВЕДЕНИЕ

Объектом исследования является действующий фонд эксплуатационных скважин компании «Газпромнефть». К рассмотрению представлен следующий стандартный комплекс ГИС: нейтронный (НК), акустический (АК), гамма (ГК), спонтанной поляризация (СП) и плотностной (РНОВ) методы, плотностной и акустический каротаж являются объектом синтеза из-за их физической взаимосвязи. Предмет исследования - частичное или полное восстановление данных ГИС на действующем и планирующемся к последующему бурению фонду скважин при помощи алгоритмов машинного обучения (МО), с минимальным стандартным комплексом данных ГИС, а именно ГК, СП, АК, НК, РНОВ.

Практическая значимость работы заключается в использование общедоступных пакетов прикладных программ, способных реализовать построения нейронной сети (НС) и случайного леса (СЛ). Использование данных алгоритмов способствует генерации ценной информации, используемой в дальнейшем при интерпретации геологической, петрофизической и сейсмической информации, а также создания гидродинамической и геологической модели месторождения. Полученные результаты данной работы подтверждаются восстановлением ряда каротажных кривых на нескольких эталонных скважинах. Коэффициенты корреляции синтетических кривых и экспериментальных имеют практически абсолютные значения, что указывает на высокую степень достоверности полученной информации.

Практическая значимость работы обусловлена снижением затрат, направленных на проведение ГИС, оптимизацией времени обработки и интерпретации геофизической информации.

## 1. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Задачи синтеза данных при помощи методов машинного обучения затронуты и изучены, преимущественно, зарубежными коллегами. На основании статей общества инженеров-нефтяников (SPE) [1], [2], [3] приняты к дальнейшему рассмотрению плотностные и акустические исследования скважин, а также алгоритмы нейронной сети и случайного леса для генерации данных.

На основании работ коллег из России [4], [5], рассмотрены эмпирические зависимости синтеза данных плотностных и акустических кривых, а также сравнены с результатами полученные методами машинного обучения.

На всем вводимом в эксплуатацию фонде скважин, необходимо проведение стандартного комплекса ГИС, а именно: электрические (СП), радиоактивные методы (ГК, НК) и кавернометрия. При помощи стандартного комплекса ГИС возможно выделение пластов-коллекторов, пород покрышек, пластов углей. Более детальный анализ литологии, типа пластового флюида, выделения перемычек требует проведения на скважинах специальных методов ГИС, таких как АК, РНОВ. Данные методы необходимы не только для уточнения литологического состава вмещающих пород, но и для идентификации основных петрофизических параметров, а именно пористость, насыщенность и проницаемость.

Акустические и плотностные методы имеют физически взаимосвязанную природу, соответственно, можно использовать поведение одной кривой в совокупности со стандартным комплексом ГИС, чтобы описать поведение второй кривой. Одним из примеров физической взаимосвязи плотности и скорости пробега волн является постепенное уплотнение пород вниз по разрезу. Так, с уплотнением горной породы уменьшается время пробега и наоборот. Таким образом, при увеличении глубины в большинстве случаев

происходит уплотнение пород, и, как следствие, уменьшение времени пробега волны.

На множестве вводимых в эксплуатацию скважин, возможно отсутствие одного, а иногда и обоих специальных методов ГИС, что в результате приводит к затруднению интерпретации, построения модели и подсчета запасов.

Данная проблема может быть разрешена при помощи эмпирических зависимостей, керновых данных и методов машинного обучения. В работе детально рассмотрены методы восстановления каротажных кривых алгоритмами машинного обучения, поверхностно затронуты эмпирические взаимосвязи.

Часто ставится задача восстановления фрагмента данных плотностного или акустического метода не только на интервале пласта-коллектора, но и всего интервала бурения, а также синтезирование данных горизонтальных участков скважин. Использование эмпирических уравнений усложнено в данных условиях, т.к. уравнения должны включать в себя физическую сущность обоих методов, а именно учитывать влияние температуры, давления и другие факторы. Следовательно, на практике создание универсального уравнения является достаточно сложной, с точки зрения реализации, задачей.

Обычно создаются зависимости для конкретного региона, месторождения и типа обстановки седиментации и как результат, существует вероятность, что уравнение, полученное на одном участке месторождения, может некорректно работать на другом. Для решения данных проблем предлагается использовать алгоритмы машинного обучения ввиду их высокой точности и возможности повсеместного внедрения.

## 2. ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 2.1. Шестаковский комплекс (Яр)

Объектом тестирования алгоритмов машинного обучения и эмпирических зависимостей является 3D геологическая модель Шестаковского комплекса, Рисунок 1.

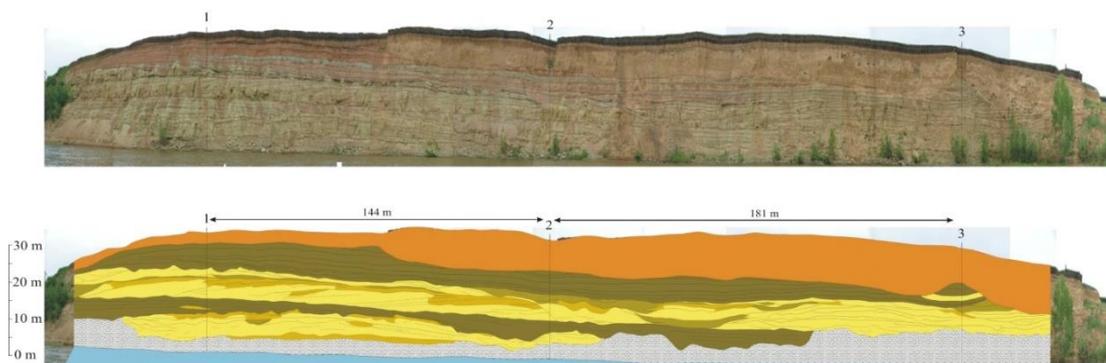


Рисунок 1 - Стратиграфическое расчленение Шестаковского обнажения [5]

Геологическая модель разбита на 1380 ячеек, в каждой из которых создана синтетическая скважина с минимальным комплексом ГИС, также в модель внесен разлом, разделяющий пространства на два блока. В первом блоке находится 1056 ячеек, во-втором-356 ячеек, Рисунок 2.

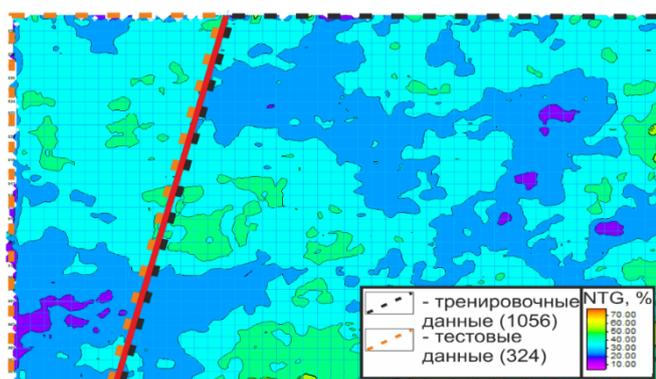


Рисунок 2 - План 3D модели Шестаковского комплекса [5]

## 2.2. Крапивинское месторождение

Основным объектом исследования является фонд скважин, расположенный на лицензионном участке компании «Газпромнефть» Крапивинского месторождения.

Крапивинское месторождение расположено в Карагосокском районе Томской области. Удаленность объекта от областного центра составляет около 600 км.

Месторождение открыто в 1984 г, выработка производится с нижне-средне и верхнеюрских отложений.

Месторождение является нефтяным и расположено на локальном Крапивинском поднятии, наибольшем поднятии Каймысовского свода. Наиболее нефтеносным куполом является северо-западный, глубина скважин на данном участке более 2,5 км, на некоторых участках достигает до 3 км.

Крапивинское месторождение является средним с точки зрения извлекаемых запасов, нефтенасыщенность составляет 57-58%, КИН варьируется от 10 до 30%. Нефть преимущественно легкая, от 0,786 до 0,873 г/м<sup>3</sup>, сернистая до 1,1% и малопарофинистая 1-2,44 %. Продуктивность, преимущественно, связана с нижне-, средне- и верхнеюрскими отложениями. Пласты коллектора сложены терригенными отложениями, открытая пористость достигает до 20%.

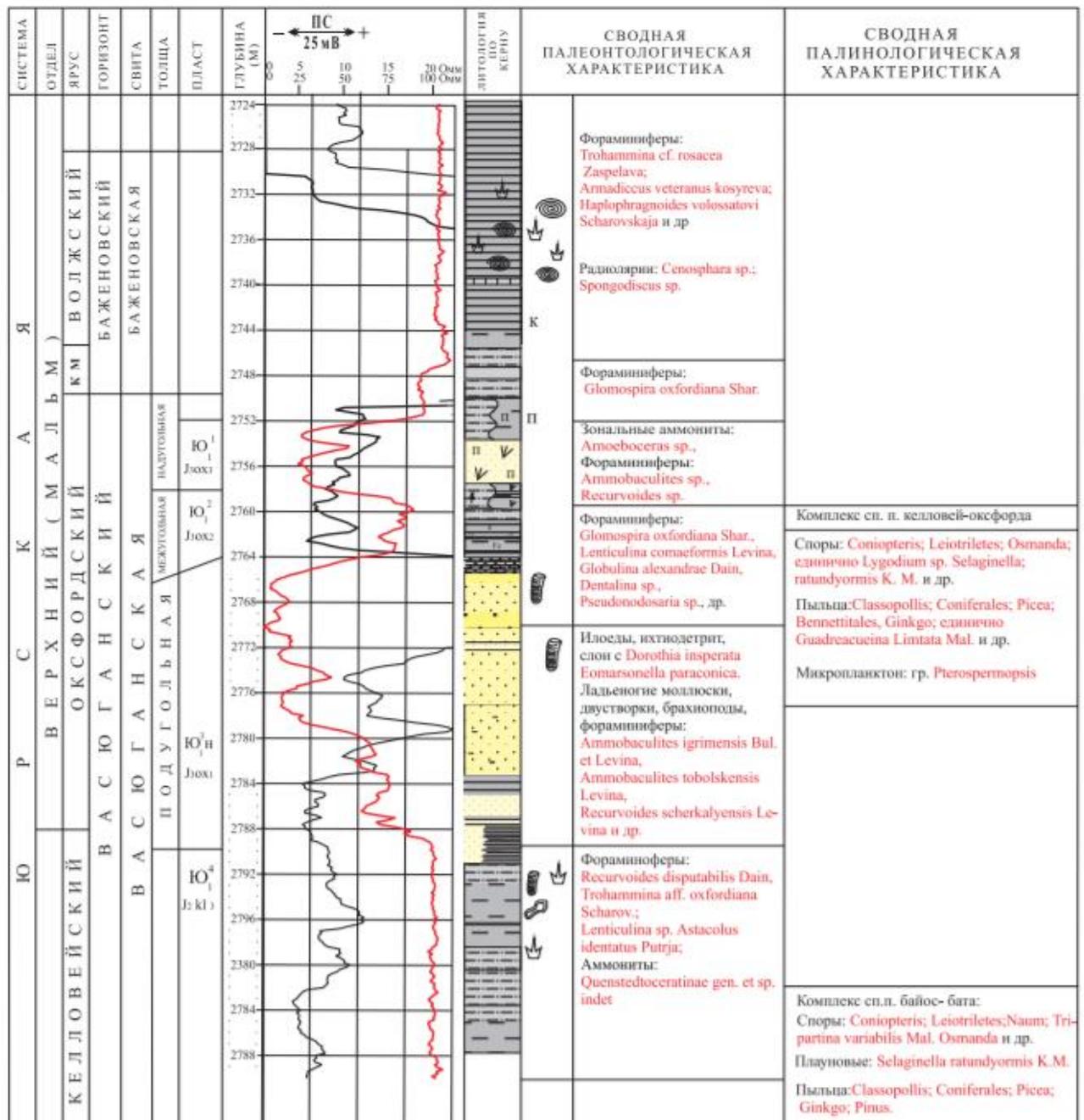
Разработка месторождения производится с северо-востока Томской области компанией «Томскнефть», а с юго-западной «Газпромнефть», оператор участка «Газпромнефть-Восток».

На лицензионном участке располагается 165 скважин, на 9 из которых проведены исследования плотности вмещающих пород, и на 16- акустические исследования, Приложение 3.

## *Стратиграфия*

На территории Крапивинского месторождения выделяют Георгиевскую, Васюганскую и Баженовскую свиты, также отмечается, что отложения верхнеюрского комплекса носят полифациальный характер [6]. Отличительной особенностью верхнеюрских отложений является регрессивно-трансгрессивное залегание на ниже залегающих отложениях Тюменской свиты. В дополнение, наблюдается наличие черных битуминозных аргиллитов Баженовской свиты в верхней части разреза. Баженовская свита является реперным горизонтом (литолого-фациальным и хронологическим) и нефтематеринской формацией.

Подошвенные отложения верхней юры, подошва трансгрессивного пласта Ю<sub>1-2</sub>, характеризуются слабовыраженными границами и как следствие выделение во многих случаях производится условно. Основной объект разработки Крапивинского месторождения является пласт Ю<sub>1</sub>, вскрыт всем пробуренным фондом скважин. Пласт Ю<sub>1</sub> характеризуется сложным геологическим строением, т.к. регистрируется значительная вертикальная и латеральная неоднородность продуктивных интервалов, высокая изменчивость ФЕС. В среднем мощность пласта составляет 20-30 м, а эффективная находится в районе 15-25 м. Горизонт Ю<sub>1</sub> в Ю-В Западной Сибири принято разделять на три основные толщи, а именно: под-меж – и надугольную. Основными продуктивными отложениями подугольной толщи являются песчано-алевритовые пласты Ю<sub>1-3</sub> и Ю<sub>1-4</sub>. Ю<sub>1-4</sub> отнесен к верхнему и среднему келловею, Ю<sub>1-3</sub>- нижний оксфорд, междуугольная толща и формация Ю<sub>1-2</sub>-средний оксфорд, Ю<sub>1-1</sub> -верхний оксфорд. На Рисунке 3 представлен сводный биостратиграфический разрез Крапивинского нефтяного месторождения горизонта Ю<sub>1</sub> [6].



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Основные типы осадочных пород:

- Песчаник мелкозернистый;
- Песчаник среднезернистый;
- Песчаник крупнозернистый;
- Алевролит;
- Глина;
- Аргиллит;
- Переслаивание;
- Уголь;
- Известняк.

Включения:

- Пирит;
- Сидерит;
- Железо;
- Остатки флоры;
- Макрофауна;
- Растительный детрит;
- Кальцит;
- Углистые включения.

Фаунистические остатки:

- Икhtiодектрит;
- Илоеды;
- Melagrinnella;
- Dentalium;
- Пелешинды;
- Кокколитофориды;
- Фораминиферы.

Рисунок 3- сводный биостратиграфический разрез Крапивинского нефтяного месторождения горизонта Ю<sub>1</sub>, [6].

### 3. ВОССТАНОВЛЕНИЕ ДАННЫХ ПРИ ПОМОЩИ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ

Синтез данных ГИС с помощью экспериментальных зависимостей является комплексной задачей т.к., с одной стороны, необходимо учесть все возможные физические факторы, имеющие наибольшее влияние на восстановление определенного метода ГИС (глубина, температура, давление, аномалии, метод бурения и вскрытия пласта и т.д.), а с другой - найти ту зависимость, при помощи которой возможно увязать все имеющиеся методы ГИС воедино.

На практике, оказывается, что не каждую каротажную кривую возможно восстановить при помощи эмпирических зависимостей [7]. Также кривые, полученные на одном участке месторождения, зачастую не применимы на другом, ввиду различной литологии, обстановки осадконакопления, присутствия аномалий и т.д.

Восстановить данные акустического каротажа, используя эмпирические уравнения, возможно с помощью уравнения Фауста и методики Зеляева [7], плотностного- уравнение Gringaten [8], уравнение 1,2 и 3.

$$\rho = \alpha \cdot V_p^2 + b \cdot V_p + c + K_{гл} \cdot M; (1)$$

$$\Delta T_p = -90 \cdot \ln_{10}(NK - k) + m; (2)$$

$$\Delta T_p = \frac{\alpha}{(D \cdot R_t)^b} \text{ или } \Delta T_p = \alpha \cdot \ln(NK) + b; (3)$$

- где,  $\rho$  – Плотность горной породы, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\alpha, b$  – Нормировочные коэффициенты ( $\alpha = 600 \div 1000, b = 0.1 \div 0.3$ );  
 $D$  – Глубина, м;  
 $R_t$  – Сопротивление глубинного зонда, Ом · м;  
 $V_p$  – Скорость продольной волны, км/с;  
 $NK$  – Показания нейтронного каротажа;

- $m, k$  – Нормировочные коэффициенты ( $k = 1.1 \div 4, m = 180 \div 300$ );  
 $K_{\text{гл}}$  – Коэффициент объемной глинистости;  
 $M$  – Пересчетный коэффициент для глинистых пород, ( $0 \div 0,35$ ).

### 3.1. Синтез акустических кривых

Анализируя базу данных ГИС Шестаковского обнажения, можно видеть, что восстановление акустических методов не является возможным с использованием методики Зеляева и уравнения Фауста, ввиду отсутствия методов глубинного зондирования и нейтронного каротажа. Также отмечается, что нормировочные коэффициенты  $a$  и  $b$  зависят от литологического состава пород и, как следствие, ограничены в повсеместном использовании. В статье [9] отмечается, что «в юрском интервале разреза и для территории Восточной Сибири применение формулы Фауста -неприемлемо».

Как правило, в процессе исследования скважин акустическими методами, регистрируют лишь продольные волны, игнорируя поперечные, что в последующем приводит к недостатку информации в процессе интерпретации вертикальной анизотропии пласта. В результате этого формируется некорректная модель, не способная в полной мере отразить вертикальные перетоки пластового флюида. Последнее является одним из недостатков эмпирических уравнений возникающим в процессе восстановления кривых акустики.

### 3.2. Синтез кривых плотностного каротажа

Восстановление плотностных кривых, как отмечено ранее, возможно при помощи модели Гарднера-Кастанья [8]. Модель Гарднера-Кастанья является удачным примером уравнения, с помощью которого возможно

восстановить синтетическую кривую, практически идентичную исходной, путем подбора соответствующих нормировочных коэффициентов.

К достоинствам модели относят: учет глинистости разреза, высокую корреляцию исходных и синтезированных данных. В то же время модель имеет ряд недостатков, а именно: требуется подбор нормировочных коэффициентов для каждой отдельной скважины, значительные затраты времени, требуемые для подбора коэффициентов, модель не может быть применена в скважинах, где отсутствуют акустические исследования.

С учетом имеющейся информации, получена полиномиальная кривая 2 степени описывающая связь плотности и скорости пробега продольной волны, Рисунок 4.

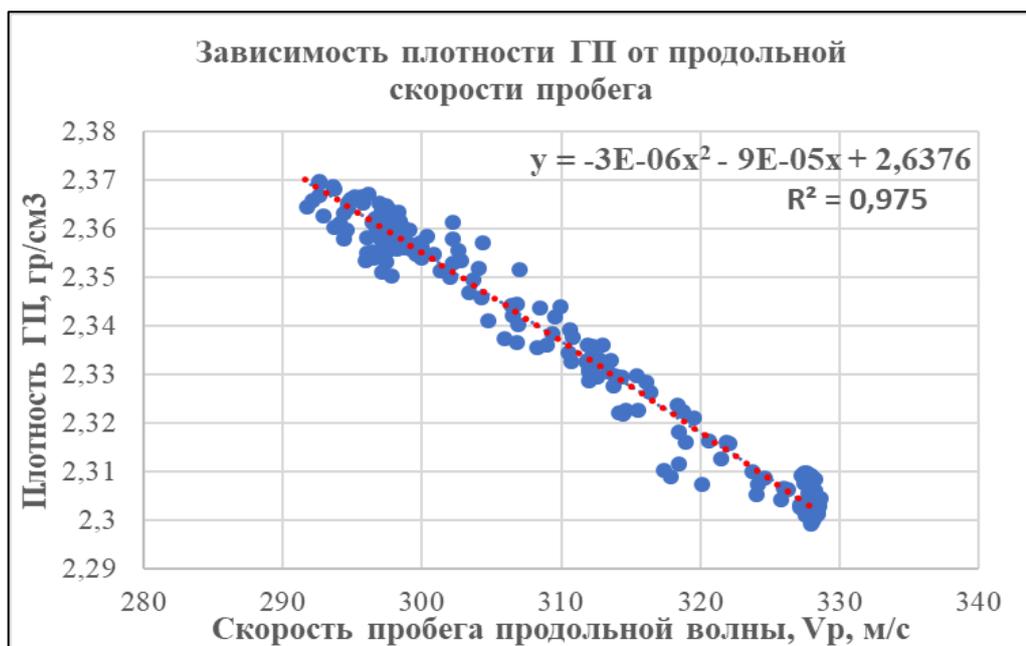


Рисунок 4 - Зависимость плотности ГП от скорости пробега

Кривая плотностного метода восстановлена на продуктивном интервале при помощи модели Гарднера-Кастанья. На Рисунок А 1 представлено сопоставление синтетических и эталонных данных плотностного метода. Коэффициент корреляции 0,988, что указывает на достаточно высокую сходимость синтезированных и ГИС данных, Рисунок 5. Стоит заметить, что имеющиеся данные Шестаковского полигона являются синтезированными и

имеют высокую степень корреляции между собой, что подтверждается высоким коэффициентом детерминации зависимости плотность-скорость пробега. К сожалению, не всегда имеется возможность наблюдать и работать с подобным набором данных и, как результат, сходимость получается значительно ниже ожидаемой.

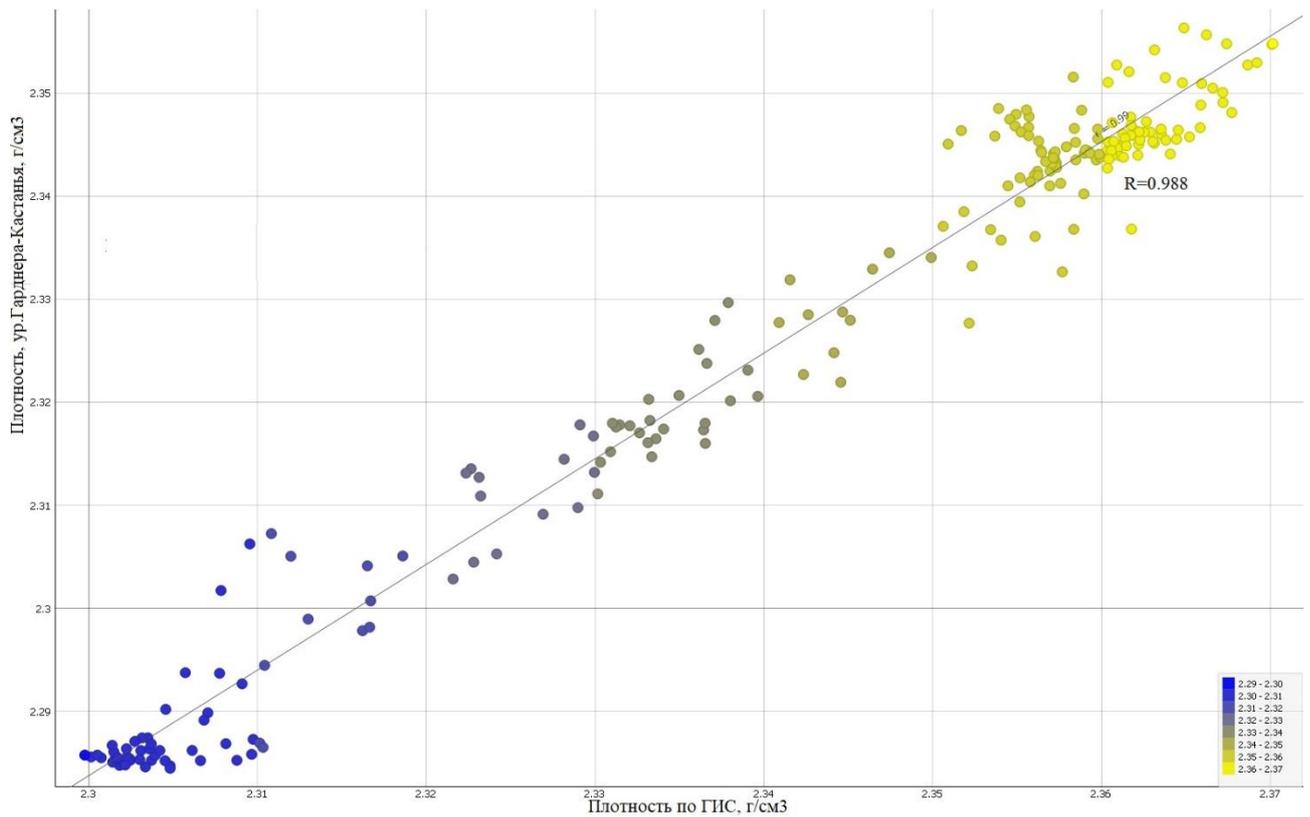


Рисунок 5- Cross-plot, плотность по ГИС и ур.Гарднера-Кастъера

#### **4. ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ИХ ОСНОВ**

Машинное обучение (МО) - крупный подкласс искусственного интеллекта, в котором рассматриваются методики создания алгоритмов, имеющих способность к последующему самообучению. Основная задача МО - автоматизированное «частичное или полное» разрешение комплексных задач.

Выделяют два типа МО - дедуктивное и индуктивное. Первый тип обучения предполагает интеграцию знаний экспертов в единую обучающую базу. Второй тип обусловлен поиском общих закономерностей, встречающихся в эмпирических зависимостях [10].

На основе двух вышеперечисленных типов МО выделяют три подтипа обучения: с учителем, без учителя и с подкреплением.

Обучение с учителем является самым распространенным подтипом обучения, в котором прецеденты представлены парой, состоящей из объекта и ответа. Задача обучения с учителем сводится к нахождению функциональной связи (зависимости) ответа и описания объекта, на основании которой возможно построить алгоритм. Входные параметры - описание объекта, выходные - ответ. Качество определяется средней ошибкой полученных ответов, сгенерированных данным алгоритмом с учетом всех объектов выборки. Основные задачи, которые решаются при помощи обучения с учителем - регрессия, ранжирование, классификация и предсказание.

В случае обучения без учителя ответы не даны, задача сводится к поиску взаимосвязей между объектами выборки. Основные задачи обучения без учителя - кластеризация, сокращения размерности, поиск ассоциативных правил и т.д.

Существует третий подтип - обучение с подкреплением. Суть обучения с подкреплением сводится к поиску правильного решения и оценке характера поиска решения, другими словами, алгоритм старается найти правильное решение любым способом, после чего производится оценка эффективности

поиска. Таким образом, алгоритм начинает понимать, что от него требуется, и производит поиск ответа с меньшим количеством данных «учителем» [11], [12].

Основной задачей данной работы является восстановление и синтезирование данных, основываясь на входных параметрах. Следовательно, это задача предсказания, относящаяся к методу обучения с учителем. Тестирование алгоритмов производилось на Шестаковском комплексе, алгоритм обучался на эталонной выборке скважин (1056 штук) с полным комплексом проведенных ГИС, в последующем, обученный алгоритм работал на скважинах с ограниченным комплексом ГИС (324 штук), Рисунок 2.

Синтезирования каротажных кривых выполнено с применением нейронной сети (НС) и случайного леса (СЛ). Далее представлена сущность каждого алгоритма.

Базой для тренировочной выборки послужила синтетическая 3D геологическая модель Шестаковского полигона, расположенного в Томской области. В каждой ячейке данной модели созданы искусственные скважины и каротажные кривые.

#### **4.1. Синтезирование данных с помощью нейронной сети (НС)**

Нейронная сеть представляет собой структурированную последовательность нейронов, соединенных друг с другом при помощи синапсов.

Нейрон - вычислительная единица, получающая входные параметры и производящая над ними ряд простых арифметических манипуляций с последующей передачей трансформированных данных [11].

Синапс - тип связи между нейронами, характеризующийся гиперпараметром: весом [12]. Благодаря весу ( $W$ ), входная информация трансформируется и передается дальше.

В случае, если входных, промежуточных и выходных нейронов больше, чем один в ряду, формируются слои. НС состоит из трех и более слоев: входной, скрытый и выходной слои.

На Рисунок 6 представлена простейшая трехслойная нейронная сеть.

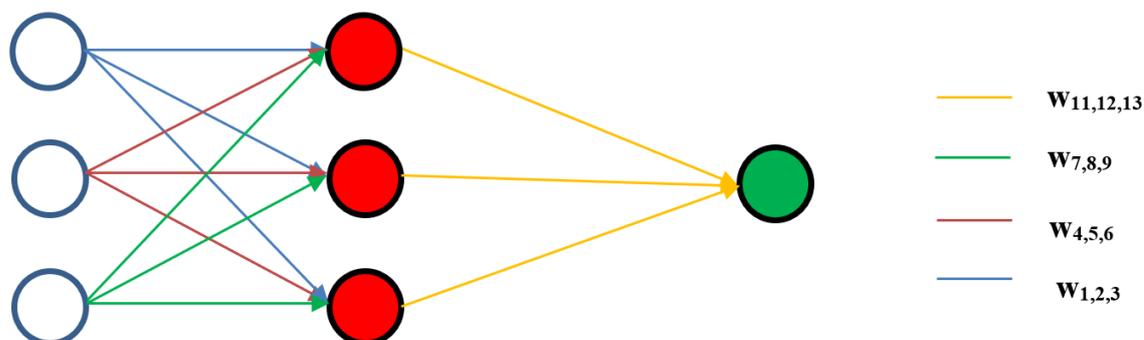


Рисунок 6 - Трехслойная СПР

Количество нейронов каждого скрытого слоя принято 50 шт, Приложение В.

Для восстановления и синтезирования кривых создана нейронная сеть прямого распространения (СПР). Сущность СПР заключается в последовательном однонаправленном соединении нейронов.

Принцип работы трехслойной СПР изображен на Рисунок 6. Каждый нейрон входного слоя (синий) имеет собственный синапс с каждым нейроном скрытого слоя (красный). Расчет нейронов скрытого слоя производится по уравнению 4. Идентичным способом рассчитывается выходной нейрон (зеленый).

$$h_i = \sum w_i \cdot I_i ;(4)$$

где,  $h_i$ -  $i$  нейрон скрытого слоя;

$w_i$  — вес  $i$  нейрона;

$I_i$  —  $i$  входной нейрон.

Входные параметры в каждый последующий слой должны быть приведены к виду от 0 до 1 или от -1 до +1. Выбор диапазона нормализации

зависит от поставленных задач. Нормализация производится при помощи функции активации. Выделяют 4 основные типа функции активации: линейная функция, сигмоид, relu и гиперболический тангенс. Окончательный тип функции активации для использования её при прогнозировании реальных данных будет выбран далее, после анализа чувствительности типа функции активации и конечной сходимости кривых. На данный момент рассмотрен, в качестве примера, тип- Сигмоид, уравнение 5.

$$f(x) = \frac{1}{e^{-x}+1};(5)$$

Тренировочный сет установлен с учетом последовательности перемножения весов. Число итераций - общее количество тренировочных сетов пройденных НС. Число итераций составляет -100, Приложение В.

Эпоха - полный набор тренировочных сетов, чем больше пройдено эпох, тем лучше обучена НС, тем меньше расхождение в эталонных и натренированных данных. Оптимальное количество эпох выбрано с учетом слабого изменения ошибки и значительного увеличения времени расчетов, Рисунок 7. Количество эпох принято 10.

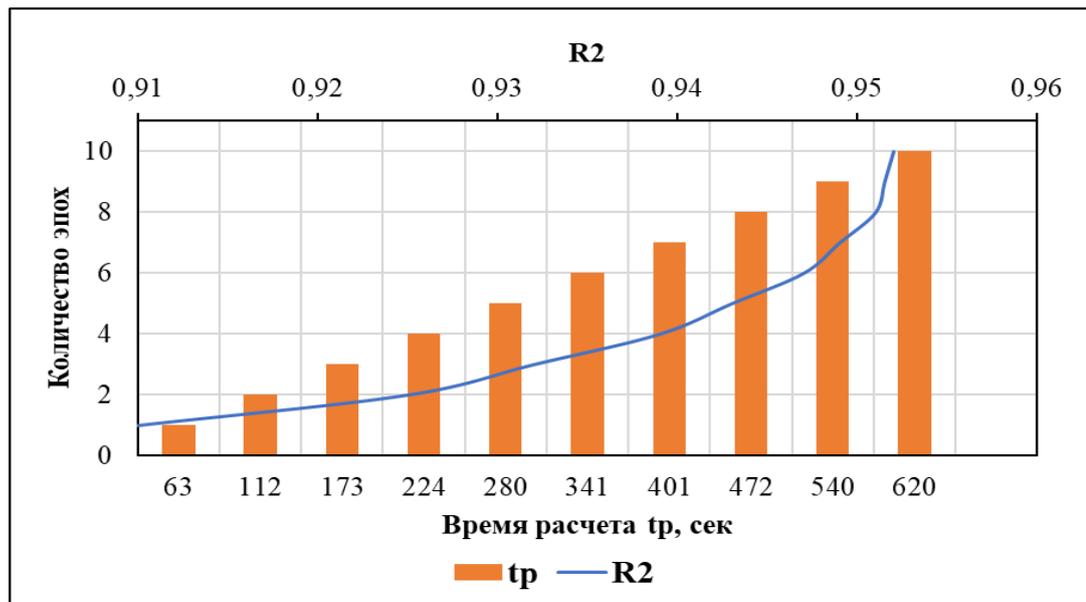


Рисунок 7 - Комбинированный график зависимости времени расчета, R2 от количества эпох

Ошибка — это процентная величина, отражающая расхождение между ожидаемым и полученным результатом. Ошибка формируется каждую эпоху и с каждой последующей эпохой уменьшается, в противном случае, в алгоритме имеются недочеты. Существует множество способов рассчитать ошибку, в работе рассчитаны следующие типы ошибок: Mean Squared Error (MSE), Root Mean Squared Error (RMSE) и Mean absolute error (MAE).

Для того, чтобы НС давала правильный ответ, её необходимо обучить. В качестве обучающего алгоритма, в работе, выбран метод обратного распространения (МОР). Подобно СПР, расчет производится с конца к началу, иными словами, сущность МОР заключается в последовательном пересчете весов, начиная с весов выходного нейрона. Значение весов меняются в ту сторону, которая даст НС наилучший результат.

Одним из методов оценки изменения первоначального значения веса ( $w_i^{old}$ ) и пересчитанного ( $w_i^{new}$ ), возможно при помощи нахождения дельты, уравнения 6,7 и 8.

$$\delta_{out} = (O_{ideal} - O_{actual}) \cdot f'(In); (6)$$

$$\delta_{hid} = f'(In) \cdot \sum w_i \cdot \delta_i^{out}; (7)$$

где,  $\delta_{out}$  — Дельта выходного веса слоя;

$\delta_{hid}$  — Дельта скрытого веса слоя;

$f'(In)$  — Производная функции активации.

$$f'(In) = \begin{cases} f_{sigm} = (1 - O_{actual}) \cdot O_{actual} \\ f_{tangh} = 1 - O_{actual}^2 \end{cases}; (8)$$

Следующим шагом требуется найти градиент для каждого исходящего синапса, чтобы определить глобальный минимум и, как следствие, подобрать вес дающий лучший результат для данного синапса. Используется метод градиентного спуска. Сущность градиентного спуска (ГС) проиллюстрирована на Рисунок 8.

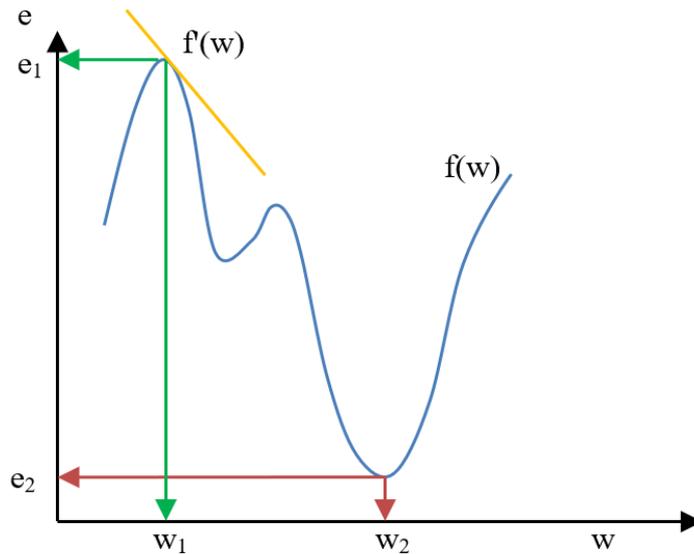


Рисунок 8 - Градиентный спуск

По оси  $x$  лежат веса нейрона, по оси  $y$  - значение ошибки соответствующего веса. Функция, изображенная на Рисунок 8, имеет локальный и глобальный минимум. Метод ГС характеризуется следующими гиперпараметрами: скорость обучения (Learning rate) и моментум (Momentum).

Моментум — это один из гиперпараметров, характеризующий скорость движения вдоль по функции. Устанавливая низкое значение, можно не достичь глобального минимума и ошибочно принять вместо него в подсчете ошибки, локальные значения, и наоборот, слишком большое значение моментума приводит к проскоку не только локальных, но и глобального минимума, тем самым завышая ошибку.

Скорость обучения является гиперпараметром, контролирующим величину шага (дистанцию) в процессе итерационной коррекции весов, т.е. чем ниже скорость обучения, тем меньше шаг расчета, тем точнее результат.

Анализируя Рисунок 8, видно, что функция имеет один глобальный минимум на пересечении  $w_2$ - $e_2$  и один локальный минимум. Принимая значение веса  $w_2$ , синапс будет иметь наименьшую ошибку.

Стандартные библиотеки `sklearn`, `pybrain` [13] языка Python включают следующие виды алгоритмов решения:

- Adam
- Стохастический градиентный спуск (SGM)
- Метод L-BFGS-B

#### **4.1.1. Алгоритм стохастического градиентного спуска**

Градиентный спуск может быть реализован двумя путями: пакетный и стохастический.

В стохастическом градиентном спуске на каждой итерации алгоритма из всей тренировочной выборки, случайным образом отбирается лишь один объект, тем самым производится настройка вектора  $w$  для каждого выбираемого объекта.

#### **4.1.2. Алгоритм Adam**

Адам — это алгоритм оптимизации градиента стохастических целевых функций первого порядка, основанный на адаптивных оценках моментов младшего порядка.

Преимущества:

1. эффективен с точки зрения вычислительной мощности (небольшие требования к памяти);
2. хорошо подходит для задач с большим количеством данных;
3. хорошо работает на сильно зашумлённых данных.

Принимая во внимание вышеперечисленные факторы, выбор величины гиперпараметров производился на основании анализа чувствительности результирующей ошибки и времени расчета, при построении нейронной сети, скорость обучения 0,00001. Результаты анализа чувствительности параметров вариации сведены в Приложение В.

Градиент между начальным и конечным значением синапса рассчитывается по уравнению 9.

$$Grad_b^a = \delta_b \cdot O_a, (9)$$

Окончательное изменение веса можно записать, в следующей форме, уравнение

$$\Delta w_i = E \cdot Grad_w + \alpha \cdot \Delta w_{i-1}, (10)$$

где,  $E$  – Скорость обучения;

$\alpha$  – Моментум.

$$w_i^{new} = w_i^{old} + \Delta w_i, (11)$$

На Рисунок 9 представлена Вох-диаграмма, иллюстрирующая основные статистические параметры синтезированной акустической кривой. Синтезированные кривые плотности и акустики представлены в Приложении С.

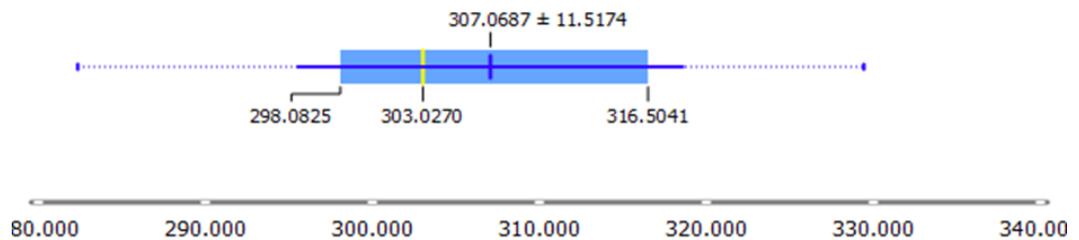


Рисунок 9 - Вох диаграмма (синтез акустического каротажа)

## 4.2. Синтезирование данных с помощью случайного леса

### 4.2.1. Описание алгоритма

Случайный лес является одним из алгоритмов МО, в котором используется ансамбль деревьев. Алгоритм случайного леса может разрешить задачи кластеризации, регрессии и классификации. Суть алгоритма сводится к решению большого количества деревьев, каждое из которых дает низкую точность, но при использовании всего массива леса точность результата возрастает. В задачах регрессии результаты всего массива усредняются, в задачах классификации - окончательный результат принимается на основании голосования.

Лес состоит из независимых друг от друга деревьев, каждое из которых строится следующим образом:

1. имеется  $k$  объясняющих переменных, случайным образом отбирается треть переменных ( $k_0 = k/3$ );
2. из отобранных  $k_0$  переменных выбирается та, которая дает наилучшее деление ветви на две подветви;
3. операция деления ветви на две подветви производится до тех пор, пока в каждом терминальном узле не окажется больше 5 наблюдений.

Наилучшее деление — это такой критерий разбиения, при котором сумма квадратов ошибок падает сильнее всего.

Построение случайного леса устроено следующим образом:

1. для каждого дерева из общего массива размером  $Z$  случайным образом отбирается (с повторениями)  $n$  наблюдений из исходных  $n$  наблюдений. Иными словами, одно и тоже наблюдение может попасться дважды, а какое-то не попасться ни одного раза;
2. посадка деревьев производится по случайной подвыборке и повторяется до получения  $Z$  деревьев;
3. каждый из  $Z$  деревьев дает свой прогноз среднего значения,  $u_{ср}$ ;

4. усредняются все средние прогнозы и получается финальный прогноз.

К достоинствам метода относят:

1. эффективная обработка массива данных с большим числом классов и признаков;

2. низкая чувствительность при масштабировании значений признаков;

3. отличная обработка как дискретных, так и непрерывных признаков;

4. возможность оценки значимости конкретных признаков модели;

5. высокая степень достоверности результата.

К недостаткам относят:

1. данный алгоритм имеет склонность к переобучению, в особенности с зашумленными данными;

2. размер модели прямо пропорционален её точности.

#### **4.2.2. Практическая часть**

В данной работе рассматривалась вариация следующих параметров для оценки наилучшей структуры леса, точно предсказывающей поведение каротажных кривых: количество деревьев, глубина дерева, количество начальных чисел, требуемых для генерации и объем тренировочной и тестовой выборки данных.

#### **4.2.3. Синтез акустического каротажа**

Рисунок 13 и Рисунок 14 демонстрируют корреляцию кривых акустики. В качестве эталонного каротажа принята кривая акустики синтетической скважины 208. Акустические кривые восстановлены при помощи обученного с учителем алгоритма случайного леса при 100 и 10% тренировочной выборки.

В Приложение Д и Е сведены основные результаты об ошибках и сходимости с учетом 100%, 70%, 50% и 20% от тренировочного объема данных, оптимального и комбинированного вариантов структуры случайного леса. Комбинированный вариант включает в себя 100 деревьев, глубина дерева 50, количество случайных генераций-5 шт. Обученный алгоритм показывает высокую корреляцию от 0.981 на 100% тестовой выборки данных и 0,912 при 5%. Это указывает на то, что комплекс ГИС, состоящий из плотностного (РНОВ), естественной поляризации (СП), гамма (ГК) каротажа является достаточным для восстановления акустического метода на продуктивном интервале Шестаковского комплекса.

На Рисунок 10 изображена Вох-диаграмма, наглядно иллюстрирующая основные статистические параметры, описывающие весь массив синтезированных данных акустического каротажа при помощи алгоритма случайного леса.

Рисунок 11 иллюстрирует изменение коэффициента корреляции в зависимости от глубины дерева.

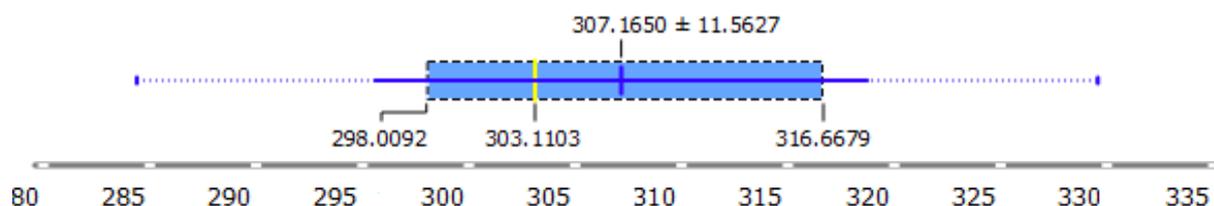


Рисунок 10 - Вох диаграмма синтетической кривой акустики

На Рисунок 12 приведена гистограмма, отражающая зависимость значения параметра вариации случайного леса и среднеквадратичной ошибки при сравнении эталонной и синтетической кривой акустического каротажа.

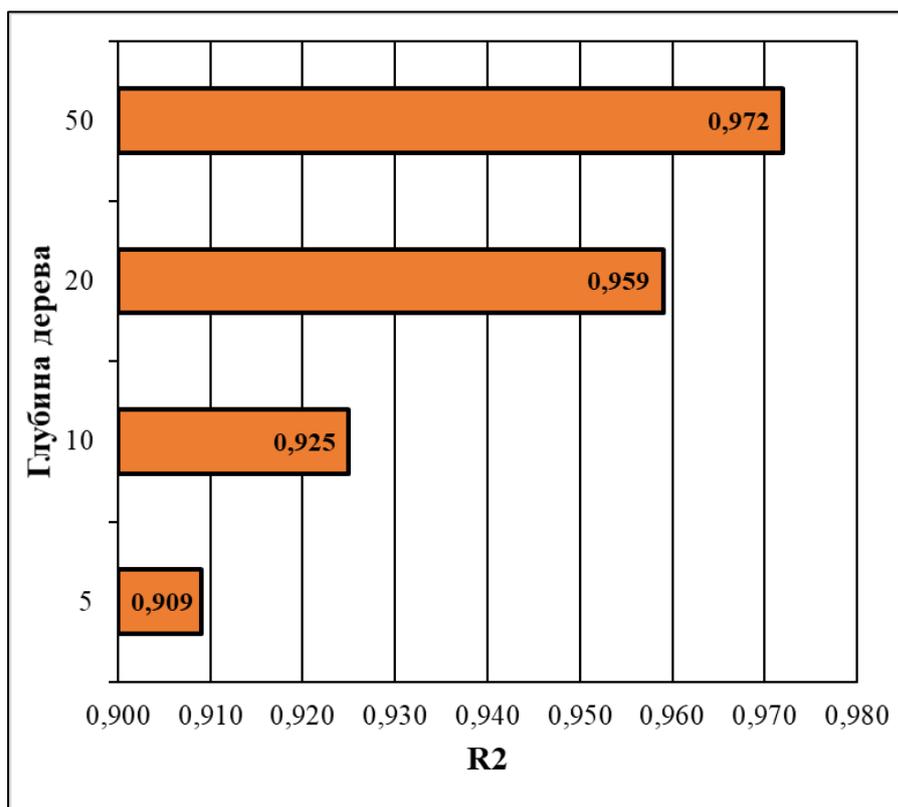


Рисунок 11 - Изменение коэффициента корреляции в зависимости от глубины дерева

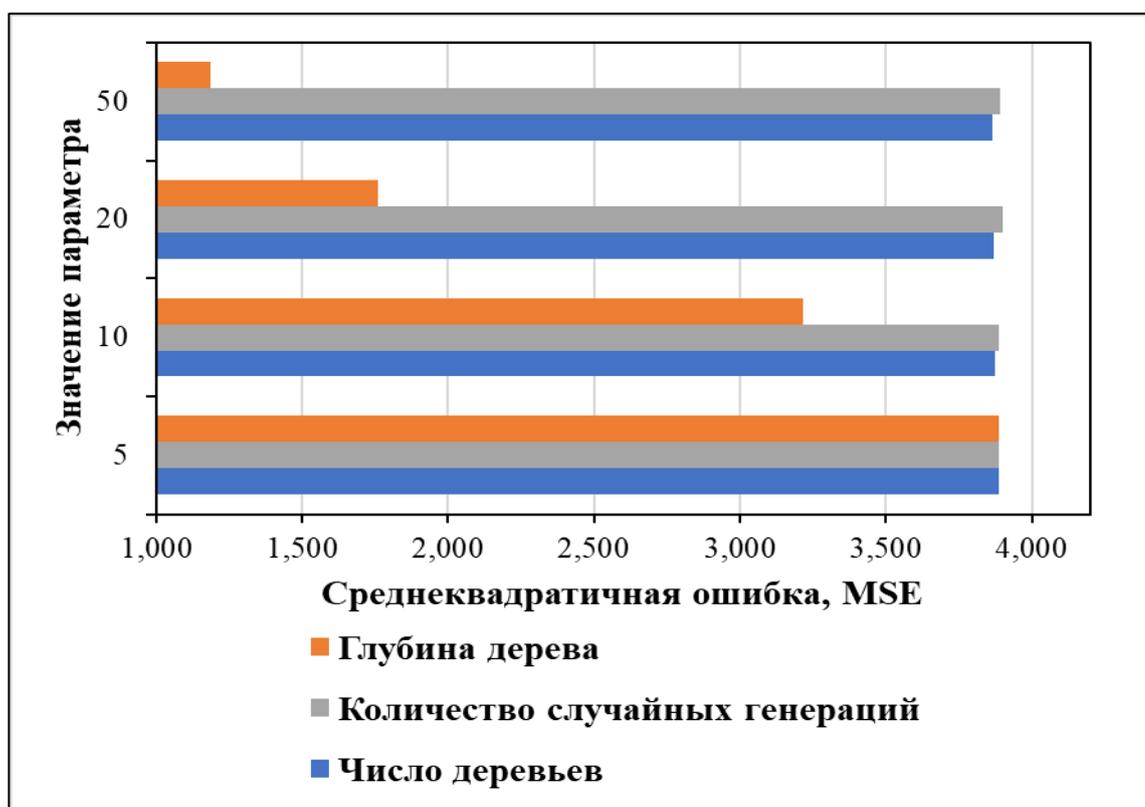


Рисунок 12 - Зависимость величины параметра случайного леса и среднеквадратичной ошибки (Акустический каротаж)

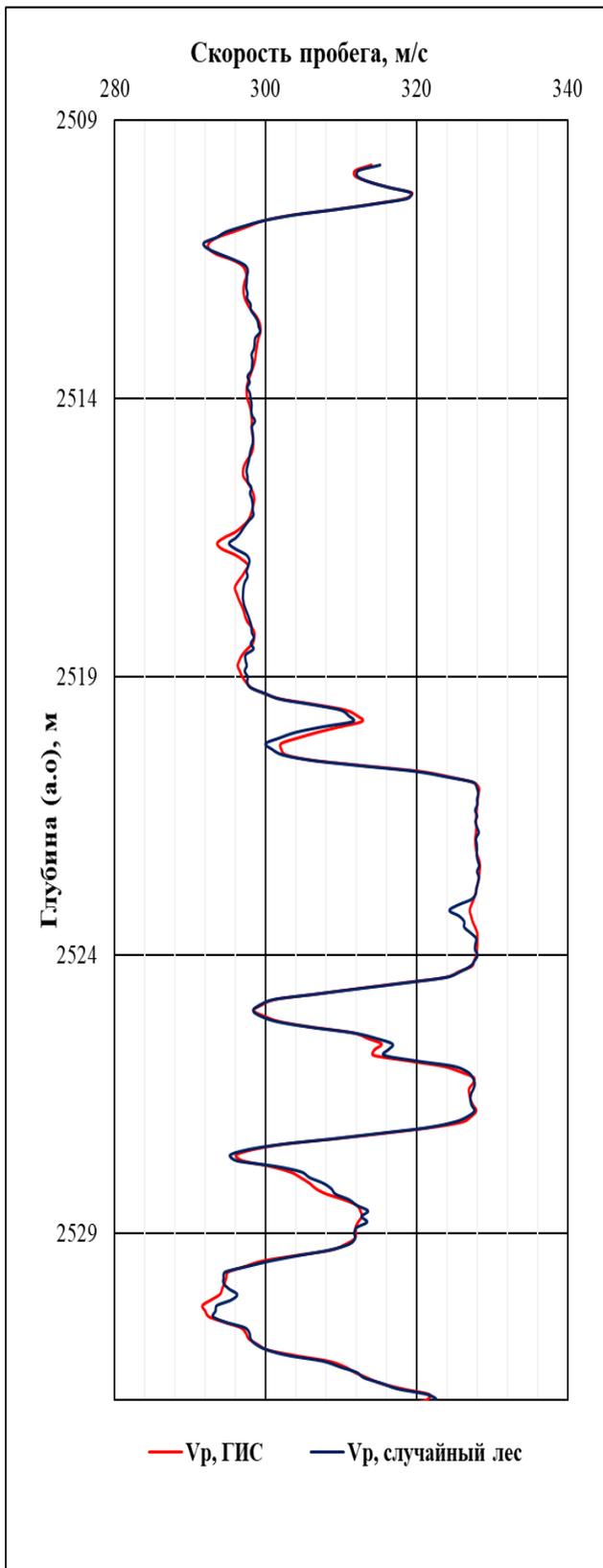


Рисунок 14 - Синтез кривой скорости при 100% объеме тренировочной выборки

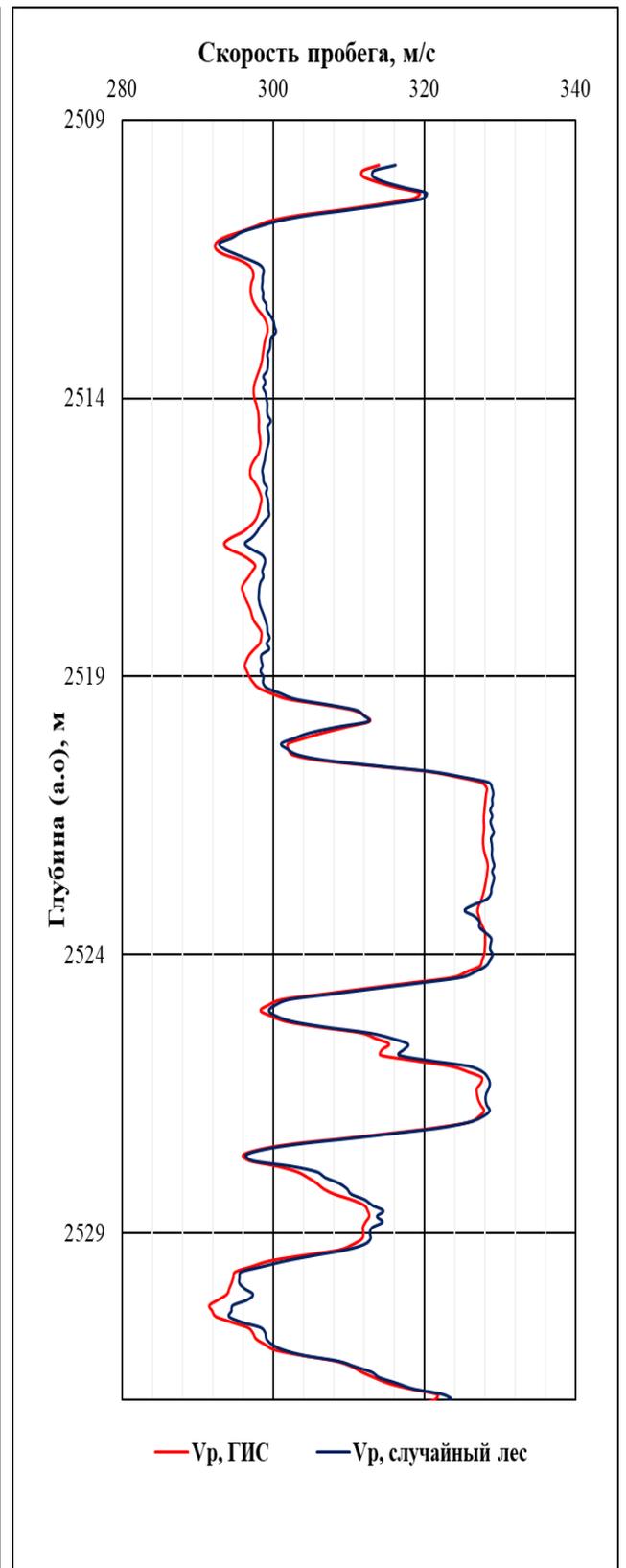


Рисунок 13 - Синтез кривой скорости при 10% объеме тренировочной выборки

#### 4.2.4. Синтез плотностного каротажа

Сравнение эталонной кривой плотностного метода Шестаковского полигона с синтезированной при помощи алгоритма случайного леса в размере 100 и 10 % от общего объема тестовой выборки изображено на Рисунок 15.

Как отмечалось ранее, плотность и скорость пробега физически взаимосвязаны, следовательно, данные методы в большей степени влияют друг на друга, нежели СП и ГК. Анализируя полученные результаты, Рисунок 15, можно отметить, что конвергентность данных с учетом нескольких использования кривых гораздо ниже, чем в случае синтеза кривой с помощью только одного акустического метода. Это объясняется тем, что методы СП и ГК имеют меньшее влияние ввиду отсутствия прямой физической зависимости.

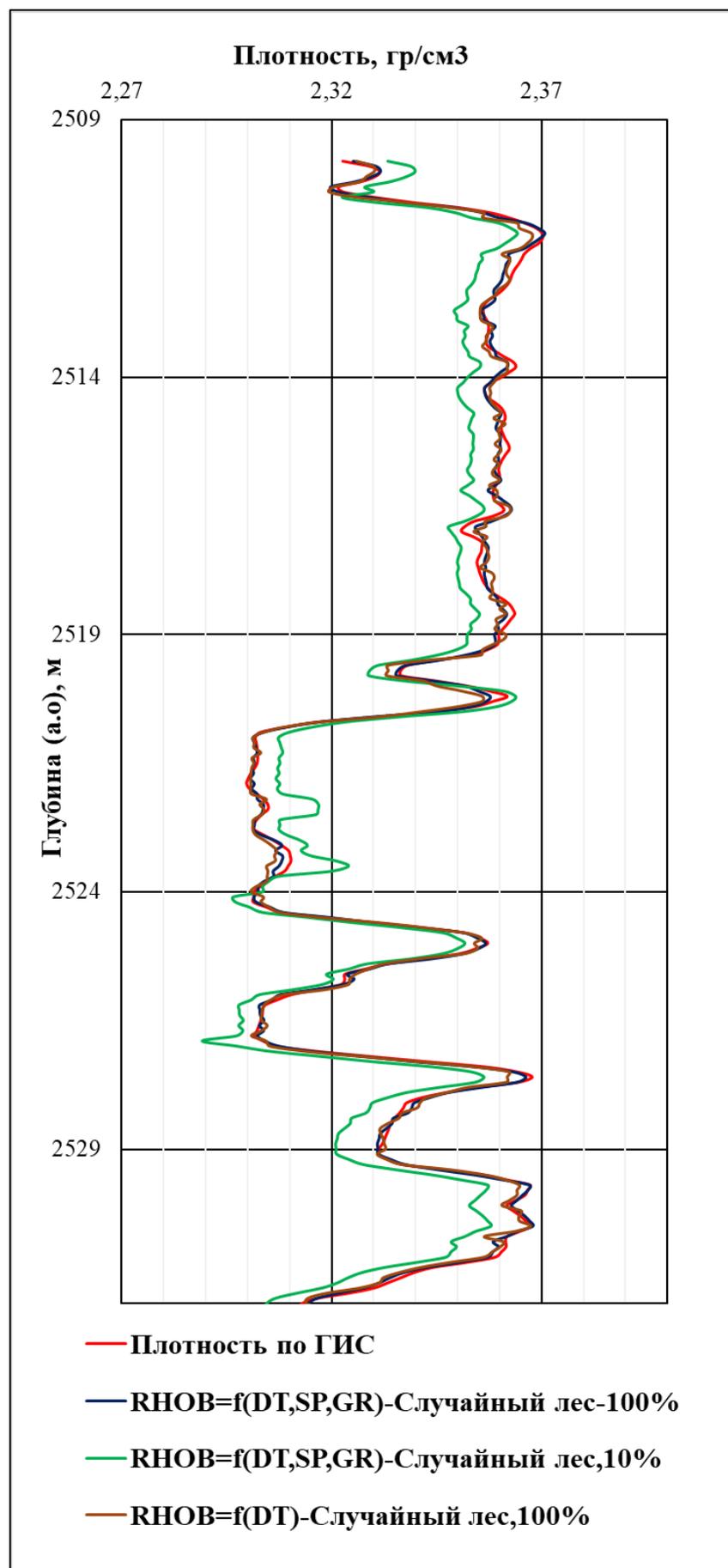


Рисунок 15 - Восстановленные плотностные кривые алгоритмом случайного леса при 100 и 10% объеме тренировочной базы

### 4.3. Анализ кривых Шестаковского полигона

Полученные результаты синтеза акустической и плотностной кривой синтетической скважины 208 Шестаковского полигона указывают на тесную взаимосвязь данных методов, что подтверждается высоким уровнем сходимости полученных кривых. К сожалению, для восстановления акустического и плотностного метода, нельзя использовать данные одного метода ввиду следующих факторов:

1. скорость пробега падает вверх по разрезу, и, как следствие, плотность в данном случае будет недооценена;
2. присутствие пластов, насыщенных газом, приводит к увеличению времени пробега продольных волн, следовательно, плотность будет заведомо занижена;
3. в процессе бурения могут быть применены утяжеленные буровые растворы с избытком глинистой фазы, сильно проникающие в глубь пласта, тем самым искажая имеющиеся показания скорости пробега продольной волны.

Несмотря на то, что полный комплекс методов ГИС дает худшую сходимость, он учитывает как насыщенность, так и литологический состав слагающих горных пород, тем самым изменяя форму синтезированной кривой.

Как отмечено ранее, в случае работы с промысловыми данными, их качество может быть значительно хуже в сравнении с информацией, полученной из модели, в связи с этим может отсутствовать высокая сходимость между плотностью и временем пробега.

## 5. АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ КАРОТАЖНЫХ КРИВЫХ И ИХ ПРОИЗВОДНЫХ

Анализ устойчивости — это инструмент, с помощью которого возможно определить методы ГИС имеющих доминирующее влияние при восстановлении кривой. Так, форма синтезированных кривых может отличаться в зависимости от используемого комплекса ГИС. Это объясняется следующими факторами:

1. физическая взаимосвязь между методами;
2. тип определяемого параметра.

Принцип выделения главных компонент (РСА) использован в качестве инструмента ранжирования методов ГИС в процессе синтеза данных. Сущность метода заключается в снижении количества переменных, выбрав из всего массива данных - доминирующие, при этом незначительно снизив информативность массива. Математическая постановка задачи метода РСА сводится к замене на новые переменные.

В Таблице 1 по методу РСА проранжирован исходный комплекс ГИС при восстановлении плотностного каротажа. Анализируя Таблицу 1 видно, что в процессе синтеза кривой плотностного метода, первоначально восстановление кривой производится по данным акустики, а не по методам ГК и СП. Рисунок 16 наглядно иллюстрирует степень корреляции данных в зависимости от методов входящих в комплекс ГИС.

Таблица 1- Ранжирование данных ГИС по весу

| № | Метод | РСА- одномерная регрессия |
|---|-------|---------------------------|
| 1 | АК    | 664,488                   |
| 2 | СП    | 470,406                   |
| 3 | ГК    | 445,236                   |

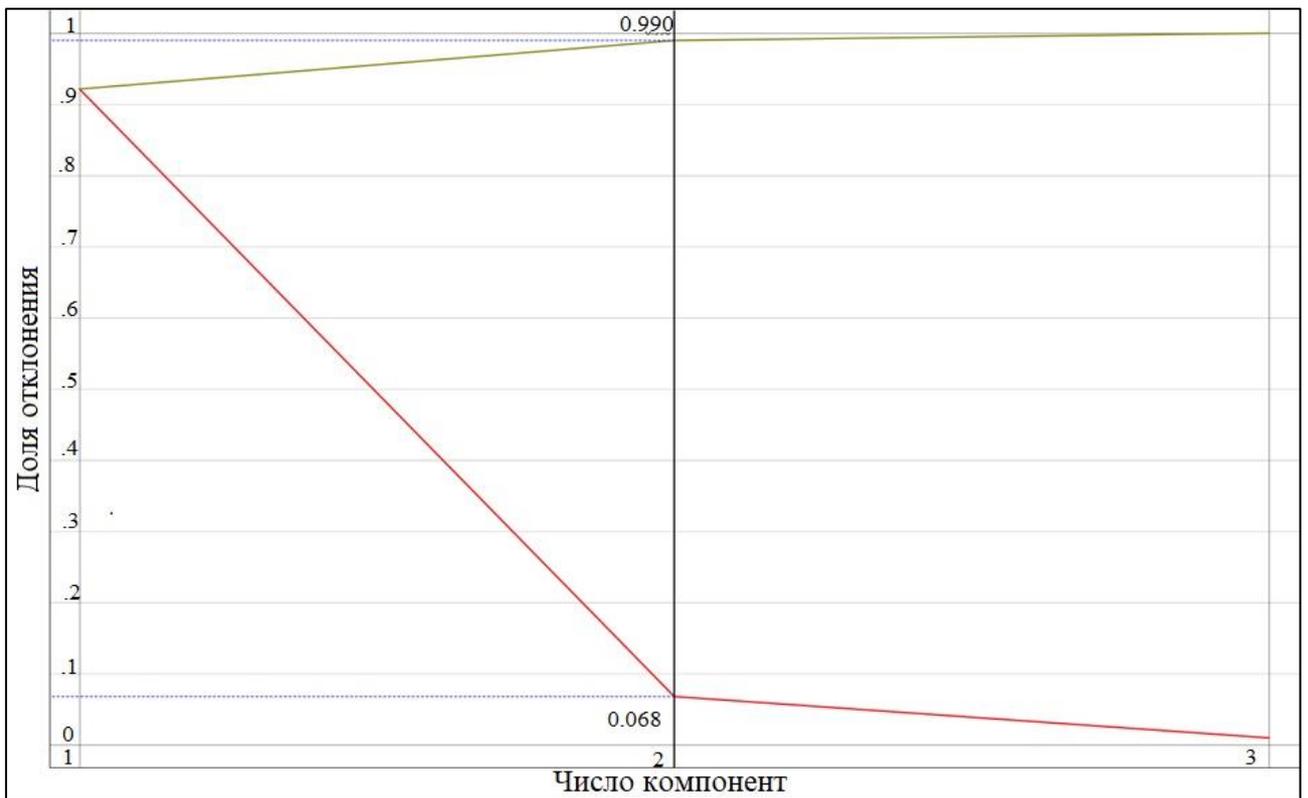


Рисунок 16 - PCA

Приложение Ж демонстрирует точность восстановления кривой плотностного и акустического метода с разным исходным комплексом ГИС и объемом тренировочной выборки. Как можно видеть, сходимость эталонной и синтетической кривой уменьшается при снижении объема тренировочной базы и методов входящих в экспериментальный комплекс ГИС.

## 6. ФОРМИРОВАНИЕ ПРИЗНАКОВОГО ПРОСТРАНСТВА

Признаковое пространство (ПП) это совокупность признаков, полностью отражающих основные свойства рассматриваемого объекта. Задача формирования признакового пространства сводится к поиску оптимального количества признаков, с помощью которых возможно получить наиболее полную объектную информацию о свойствах рассматриваемого объекта.

Некорректный выбор признаков искажает представление о объекте. Это возможно ввиду малой изученности и неправильного формирования выборочной совокупности. Формирование, оценка эффективных и качественных признаков производится с помощью факторного, корреляционного анализа и анализа устойчивости. Последний представлен в предыдущей главе.

Анализируя проведенный анализ устойчивости, отмечается, что при относительно низкой базы используемых методов ГИС, выделяются два, Рисунок 16, вносящих наибольший вклад в восстановление кривых таблица.

Принимая во внимание все вышеперечисленное, для синтезирования реальных кривых с помощью МО необходимо сформировать такой массив методов ГИС, с помощью которого возможно наиболее полно оценить свойства восстановленной кривой. Таким образом, для каждого нового объекта синтезирования, требуется создать свое признаковое пространство. Для одних и тех же методов, но на разных участках, возможно формирование различного признакового пространства. Это объясняется следующим:

1. разный комплекс геофизических исследований;
2. наличие аномалий (Баженовская свита), зон АВПД и АНПД и др.

## **7. ТЕСТИРОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ НА ПРОМОСЛОВЫХ ДАННЫХ**

Данный раздел посвящен тестированию алгоритмов МО на промышленных данных. В качестве объекта изучения выбрано Крапивинское месторождение. Методы ГИС, подлежащие синтезированию- АК, РНОВ.

### **7.1. Исходная информация**

Тестирование алгоритмов машинного обучения производится на фонде скважин лицензионного участка компании Газпромнефть Крапивинского месторождения. Общее количество скважин- 165 шт., на которых произведен широкий спектр геофизических исследований, но на преобладающем большинстве фонда не проведены исследования акустическими и плотностными методами, учитывая данное обстоятельство, синтезирование кривых плотности и акустики является актуальной задачей для данного объекта.

Формирование тренировочной выборки методов ГИС, для последующей настройки алгоритмов, производилось путем отбора скважин со всего фонда, характеризующихся наличием АК и РНОВ исследований, а также идентичного набора каротажей. В Приложении 3 приведен список методов и скважин, составляющих базу тренировочных данных для последующего предсказания данных ГИС.

### **7.2. Экспериментальная часть**

Первостепенной задачей является обучение алгоритмов восстанавливать кривые, базируясь только на тренировочной выборке данных, с высокой точностью. Обучение производится с учетом кросс-валедации (Cross-

Validation). Кросс-валидация — это техника перекрестной проверки, применяемая для проверки того, насколько хорошо используемый в модели статистический анализ способен работать на независимом наборе данных. Основные параметры вариации приняты с учетом анализа чувствительности, Приложение В и Приложение Д, Е. Результаты прогнозирования акустики и плотностного метода при помощи НС и СЛ представлены в Таблице 2.

Таблица 2-Результаты синтезирования данных ГИС

| Параметр | Плотностной метод |       | Акустический метод |         |
|----------|-------------------|-------|--------------------|---------|
|          | СЛ                | НС    | СЛ                 | НС      |
| MSE      | 0,002             | 0,015 | 20,016             | 472,978 |
| RMSE     | 0,041             | 0,121 | 4,474              | 21,748  |
| MAE      | 0,024             | 0,082 | 2,069              | 14,733  |
| R2       | 0,981             | 0,834 | 0,997              | 0,825   |

Второй шаг — это формирование признакового пространства и синтезирования кривых ГИС. Основываясь на результатах, полученных при прогнозировании, выполнен анализ устойчивости, Таблица 3.

Таблица 3- Анализ устойчивости каротажных кривых

| № | Метод   | Тип ранжирования- алгоритм Relief |      |                   |
|---|---------|-----------------------------------|------|-------------------|
|   |         | Акустика                          |      | Плотностной метод |
| 1 | 2       | 3                                 | 4    | 5                 |
| 1 | DS      | 0,338                             | MGZ  | 0,210             |
| 2 | NKTM    | 0,309                             | DS   | 0,209             |
| 3 | NKTR    | 0,250                             | NKTM | 0,193             |
| 4 | IKVG5   | 0,181                             | NKTR | 0,173             |
| 5 | NKTD    | 0,168                             | MPZ  | 0,173             |
| 6 | DENSITY | 0,164                             | NKTD | 0,161             |
| 7 | IKVG4   | 0,162                             | DT   | 0,121             |
| 8 | MPZ     | 0,154                             | GK   | 0,116             |

| 1  | 2     | 3     | 4     | 5     |
|----|-------|-------|-------|-------|
| 9  | IKVG1 | 0,145 | GZ5   | 0,101 |
| 10 | IKVG2 | 0,141 | SP    | 0,094 |
| 11 | IKVG3 | 0,138 | GZ1   | 0,077 |
| 12 | MGZ   | 0,121 | GZ4   | 0,063 |
| 13 | GK    | 0,117 | IK    | 0,063 |
| 14 | SP    | 0.103 | IKVG5 | 0,059 |
| 15 | GZ3   | 0.086 | GZ2   | 0,058 |
| 16 | GZ5   | 0.082 | IKVG1 | 0,055 |
| 17 | GZ2   | 0.076 | BK    | 0,055 |
| 18 | GZ1   | 0.064 | IKVG4 | 0,053 |
| 19 | GZ4   | 0.040 | IKVG2 | 0,047 |
| 20 | IK    | 0.039 | GZ3   | 0,046 |
| 21 | BK    | 0.025 | IKVG3 | 0,044 |

Рисунок 17 и Рисунок 18 графически иллюстрируют оптимальное количество методов, требуемых для формирования признакового пространства.

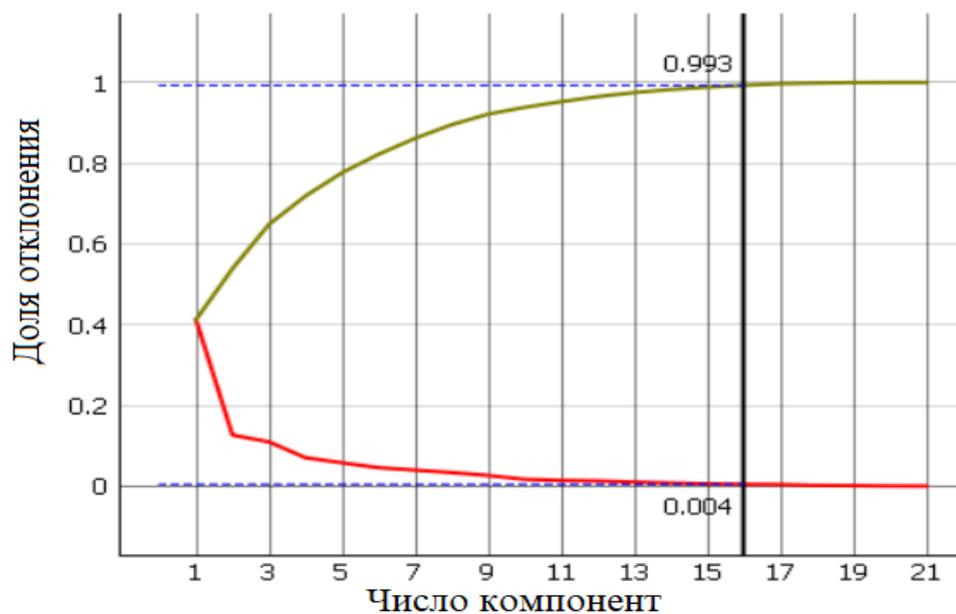


Рисунок 17 - Зависимость доли отклонения от эталонной выборки данных с изменением числа методов ГИС, акустический метод

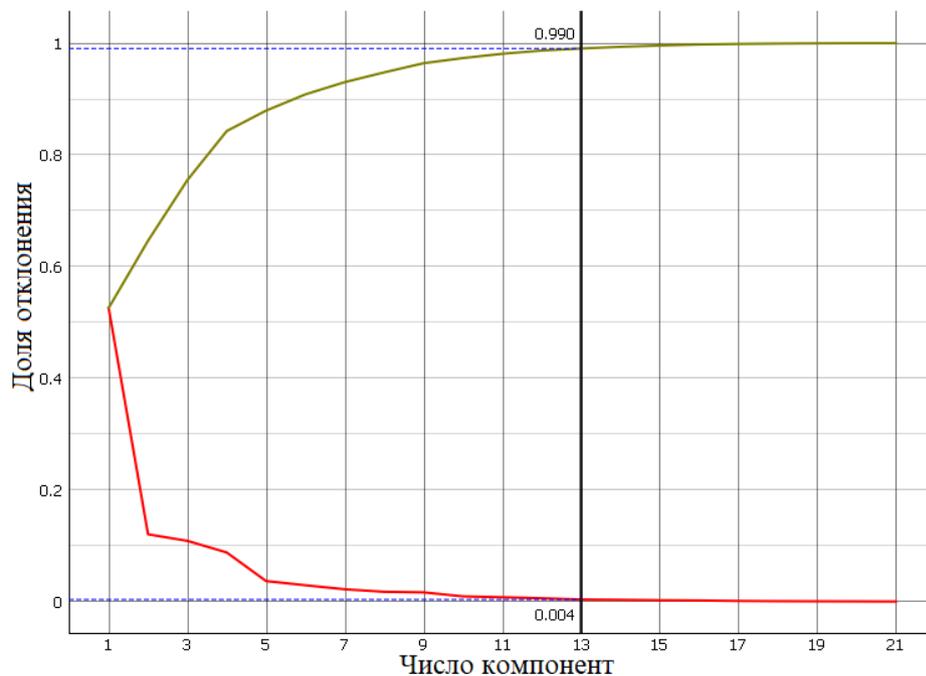


Рисунок 18 - Зависимость доли отклонения от эталонной выборки данных с изменением числа методов ГИС, плотностной метод

Анализируя данные Рисунки 17 и 18, можно видеть, что основной вклад в восстановление кривых вносят первые 13 параметров из Таблицы 3. Анализ устойчивости кривых ГИС производился одновременно для алгоритма случайного леса и нейронной сети.

Третий шаг - анализ фонда скважин, формирующих тренировочную выборку. Из Приложения 3 видно, что на всем месторождении только на скважинах 299 и 508 проведены акустические и плотностные исследования. Следовательно, на оставшихся скважинах, а именно: 279,385PL, 472, 197R, 200R, 209R, 210R, 215R, 218R, 220R, 221R, 223R, 225R требуется синтезировать плотностные кривые, и на скважинах 221R, 341, 336-акустическую кривую. Синтез кривых произведен с учетом всего фонда скважин.

Для проведения сравнительного анализа, плотностные и акустические кривые на скважине 508 восстановлены при помощи уравнения Гарднера-Кастаниера, Фауста и методики Зеляева, Рисунок 12 и 13.

## 8. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СИНТЕЗИРОВАНИЯ

Синтетические кривые, полученные с помощью алгоритма случайного леса, имеют низкий уровень флуктуации в отличие от кривых, синтезированных с помощью нейронной сети. В общем случае тренд кривой для обоих методов является идентичным. Восстановленная с помощью нейронной сети кривая плотностного каротажа имеет значительные флуктуации вдоль разреза. Данное поведение можно объяснить недостаточным объемом тренировочной базы (6 скважин из 165), а также некорректным выбором признакового пространства, а именно идентичным комплексом признаков для обоих алгоритмов. Следовательно, в данных условиях, для улучшения точности прогноза, необходимо произвести корректировку признакового пространства и повторить синтезирование кривой.

Кривые, полученные при помощи алгоритма случайного леса, имеют низкий уровень флуктуации, что подтверждает преимущества данного алгоритма, низкую чувствительность к выбросам и усреднение индивидуальных результатов.

Произведен анализ поведения синтезированной кривой плотностного метода скважины 472, Рисунок И 1 . По данным результатов интерпретации геофизических исследований скважин(РИГИС), в скважине 472 отмечается угольная перемишка на глубине 2601,54-2604,93, наличие угля также наблюдается на восстановленной кривой плотностного метода при помощи алгоритма случайного леса на данных глубинах, Рисунок И 1. Монотонность плотностной кривой ниже пласта угля обусловлена выдержанностью в литологическом составе песчаного пласта формации Ю<sub>1-3</sub>, об этом также свидетельствуют данные РИГИС и кривые методов ГК, СП, DS, IK, GZ, Приложение К.

Аналогичным образом проанализированы кривые оставшихся скважин: 279, 197R, 200R, 209R, 210R, 215R, 218R, 220R, 221R, 223R, 225R.

Синтезированные кривые акустики методом Фауста скважины 508, Рисунок И 10, наглядно демонстрирует степень влияния нормировочных коэффициентов. После подбора компонентов,  $a=800$  и  $b=0,1$ , получена кривая, имеющая лишь общее направление тренда с исходной кривой. Степень корреляции  $R^2= 0,51$ , Рисунок 19. Наличие угля не регистрируется.

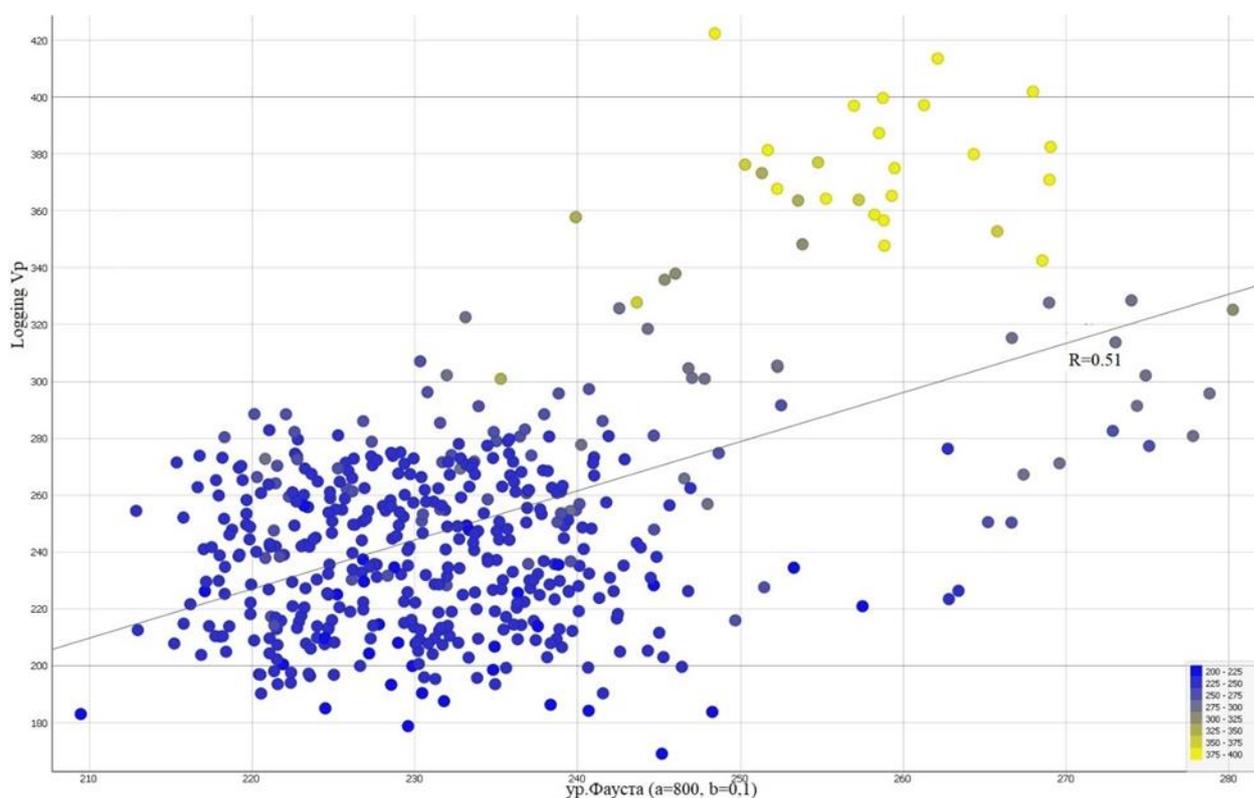


Рисунок 19- Cross-plot продольной скорости пробега по ГИС и по ур.Фауста

Рисунок И 11 представляет восстановление кривой акустики методом Зеляева, как и в предыдущем случае, подобраны нормировочные коэффициенты,  $k=1.7$  и  $m=290$ . В отличие от уравнения Фауста, методика Зеляева сохраняет помимо общего тренда форму кривой, иными словами хорошо реагирует на пиковые значения нейтронного каротажа и трансформирует их в продольную скорость пробега при правильном подборе нормировочных коэффициентов, но некорректно реагирует на наличие угольных перемычек, ввиду чего занижает сходимость кривых,  $R^2=-0,57$ , Рисунок 20, следовательно использование данной методики не рекомендовано

для оценки запасов ввиду высокой погрешности при подсчете основных петрофизических параметров.

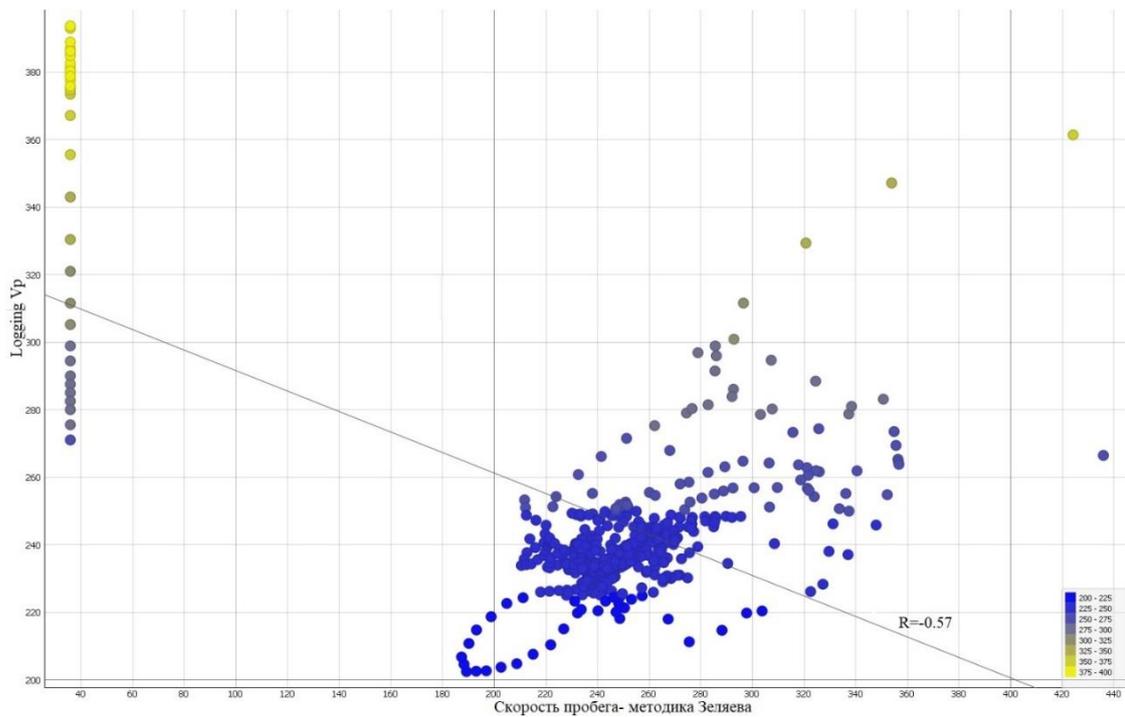


Рисунок 20- Cross-plot продольной скорости пробега по ГИС и по методики Зеляева

В свою очередь, алгоритм случайного леса демонстрирует абсолютную корреляцию данных, 0,97, Рисунок 21.

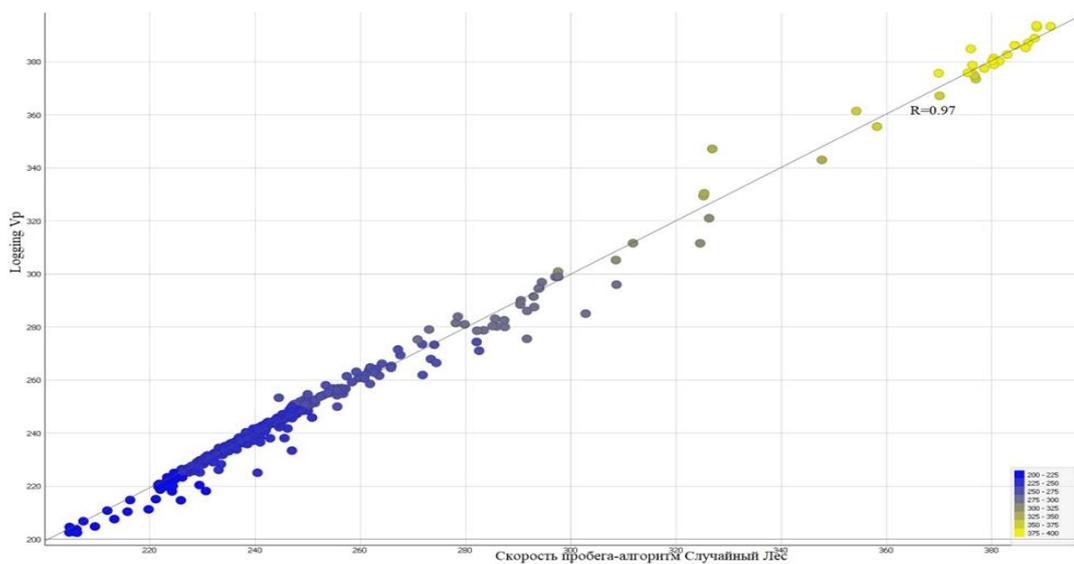


Рисунок 21-Зависимость скорости пробега (ГИС и алгоритм Случайный лес)

Кривые плотностного каротажа восстановлены алгоритмом случайного леса для 100 и 20% объема тренировочной базы, Рисунок 22. Корреляция синтетической и эталонной кривой варьируется от 0.91 до 0.99 при разном объеме тренировочной выборки, Рисунок 21. Синтез кривой с помощью уравнения Гарднера-Кастанье невозможно из-за отсутствия керновых данных.

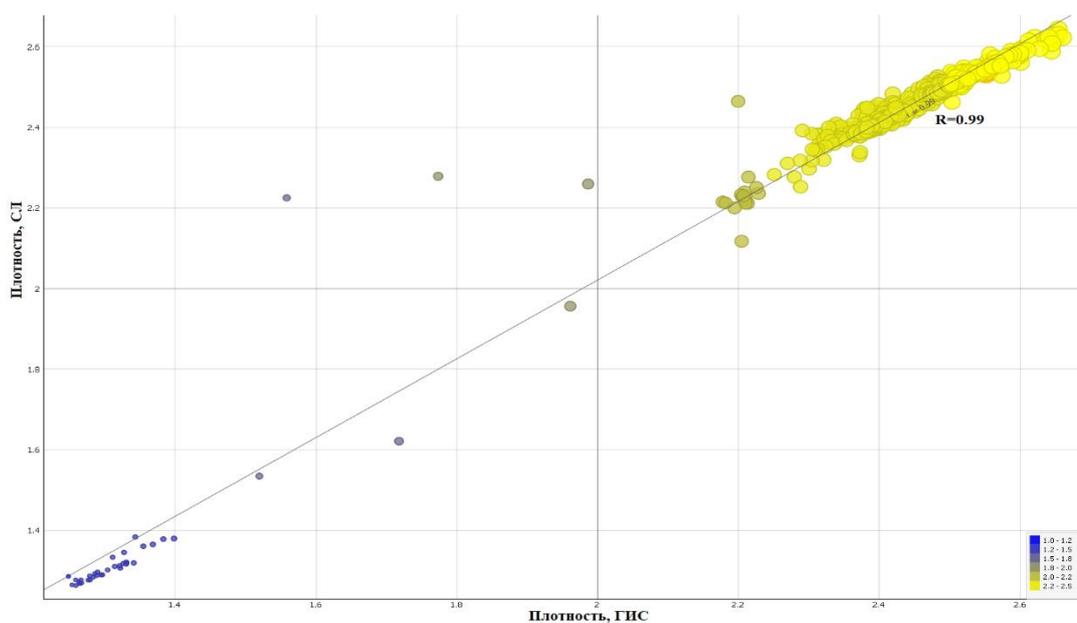


Рисунок 21- Cross-plot зависимость плотность ГИС-плотность случайный лес

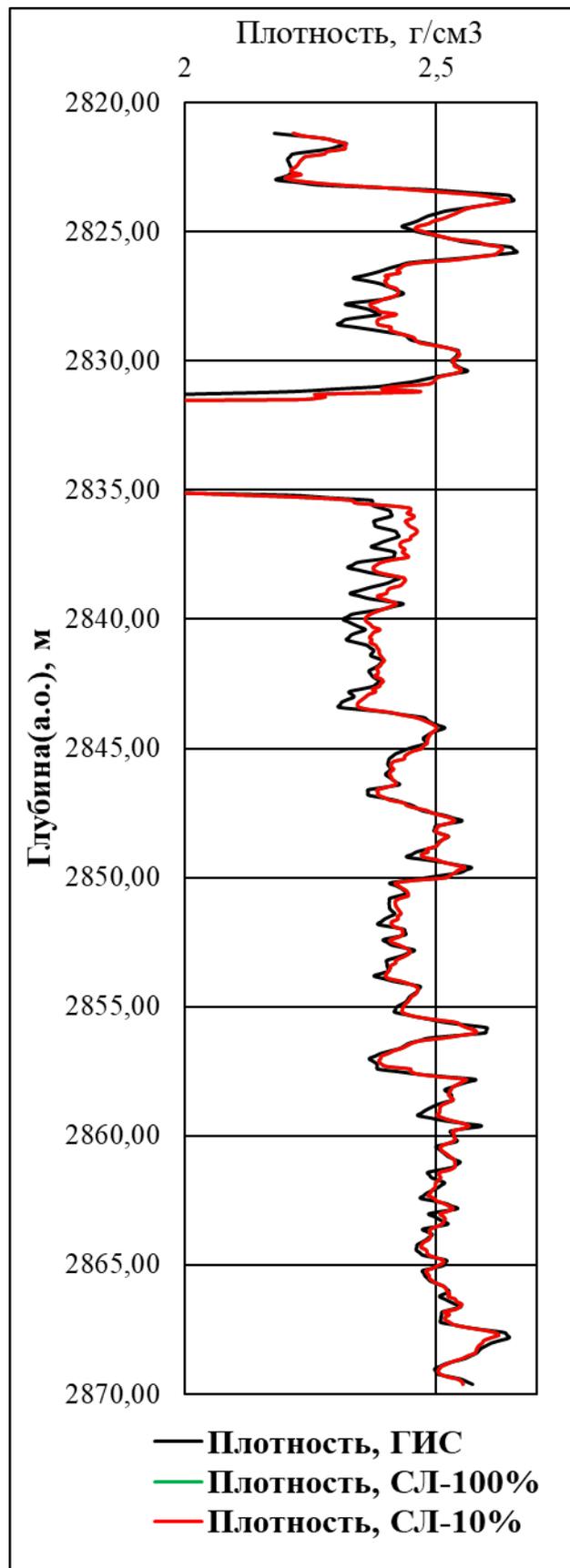


Рисунок 22-Восстановленные кривые плотности, алгоритм случайный лес

## 9. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Проведение стандартного комплекса геофизических исследований несет в себе достаточно большие финансовые затраты и как результат это отражается на экономической эффективности проекта. Данная глава посвящена обоснования эффективности применения методов машинного обучения при восстановлении данных ГИС с позиции сокращения временных и финансовых показателей.

Экономический расчет произведен для скважины № 472 Крапивинского месторождения. Скважина № 472 вскрывает пласты Ю<sub>1-2</sub> и Ю<sub>1-3</sub>. Глубина забоя составляет 2696,04 м в абсолютных отметках, кровля пласта Ю<sub>1-2</sub> находится на глубине 2598, 04 м и подошва пласта Ю<sub>1-3</sub> – 2696,04 м (абсолютные отметки).

### 9.1. Количество выполненных работ

Таблица 4 представляет основные виды работ, подлежащие к выполнению на скважине № 472.

Таблица 4 -Технико-технологический план работ

| № | Тип исследования     | Количество |
|---|----------------------|------------|
| 1 | Плотностной каротаж  | 1          |
| 2 | Акустический каротаж | 1          |
| 3 | Интерпретация        | 1          |

В Таблицу 5 сведены интервалы интереса выделенные для проведение акустических и плотностных исследований, а также требуемый масштаб записи.

Таблица 5 -Интервал, тип ГИС и разрешение записи.

| №                                       | Тип исследования | Масштаб записи | Глубины и интервал проведения ГИС |                    |         |
|---|------------------|----------------|-----------------------------------|--------------------|---------|
|   |                  |                | Глубина, м (а.о.)                 | Интервал, м (а.о.) |         |
|   |                  |                |                                   | Кровля             | Подшва  |
| 1                                       | 2                | 3              | 4                                 | 5                  | 6       |
| ГИС в не обсаженном стволе, 300-2400 м. |                  |                |                                   |                    |         |
| 1                                       | Плотность        | 1:200          | 2400                              | 300                | 2400    |
| 2                                       | Акустика         | 1:200          | 2400                              | 300                | 2400    |
| ГИС в открытом стволе, 2400-2696,04 м.  |                  |                |                                   |                    |         |
| 1                                       | Плотность        | 1:200          | 2696,04                           | 2400               | 2696,04 |
| 2                                       | Акустика         | 1:200          | 2696,04                           | 2400               | 2696,04 |

Требуется вертолет для транспортировки оборудования и специалистов до пункта назначения. Стоимость интерпретации составляет 50% от стоимости исследований.

### 9.1. Расчет затрат времени, материала и трудовых ресурсов

Расчет затрат времени, материала и труда выполнены для каждой операции при проведении ГИС на скважине № 472. Результаты расчетов сведены в таблицу 1Л. В Таблице 6 представлены временные затраты при проведении акустических и плотностных исследований на скважине № 472.

Таблица 6 – Расчет временных затрат

| № | Тип исследования    | Количество работ |      | Временные стандарты, | ОКЕИ         | Итого времени, чел. час |
|---|---------------------|------------------|------|----------------------|--------------|-------------------------|
|   |                     | 3                | 4    |                      |              |                         |
| 1 | 2                   | 3                | 4    | 5                    | 6            | 7                       |
| 1 | Плотностной каротаж | м                | 2396 | 50                   | мин/<br>100м | 1198,02                 |

| 1     | 2                    | 3       | 4    | 5     |                    | 7        |
|-------|----------------------|---------|------|-------|--------------------|----------|
| 2     | Акустический каротаж | м       | 2396 | 10.8  |                    | 258,77   |
| 3     | Транспортировка      | км      | 50   | 0,114 | чел. час /км       | 28       |
| 4     | Технический контроль | пр. час | 12   | 3,6   | Чел. час /пр. Час. | 720      |
| Итого |                      |         |      |       |                    | 2461.792 |

Временные затраты приняты в соответствии с ГОСТ «ПОСН-81-2-49» Принимая во внимание, что проведение ГИС производится вахтовым образом, следовательно могут быть использованы стандарты таблицы 1-073 «ПОСН 81-2-49» , [13].

Таблица 7 -Нормы и стандарты проведения ГИС

| №               | Тип затрат               | ОКЕИ     | Партия по тех. обслуживанию скважин |
|-----------------|--------------------------|----------|-------------------------------------|
| 1               | 2                        | 3        | 4                                   |
|                 | Временные нормы          | мин      | 480                                 |
|                 | Нормы себестоимости      |          | 365                                 |
| Трудоемкость    |                          |          |                                     |
| 1               | Рабочий                  | Чел. Час | 57.6                                |
| 2               | ИТР                      | Чел. Час | 38.4                                |
| Основная ставка |                          |          |                                     |
| 3               | Партийный работников     | Рублей   | 501.01                              |
| 4               | Включая рабочих          | Рублей   | 281.21                              |
| 5               | ИТР                      | Рублей   | 219.8                               |
| Материалы       |                          |          |                                     |
| 6               | Основные и прочие        | %        | 19.3                                |
| 7               | Амортизация оборудования | %        | 17.2                                |

|                              |                                 |          |       |
|------------------------------|---------------------------------|----------|-------|
| 1                            | 2                               | 3        | 4     |
| 8                            | Амортизация кабеля              | м        | 18    |
| 9                            | Амортизация шин                 | Компл/км |       |
| 10                           | Потребление ГСМ                 | л        | 57.56 |
| Амортизация оборудования ГИС |                                 |          |       |
| 11                           | Лаборатория                     | м-ч      | 10.4  |
| 12                           | Подъемное устройство            | м-ч      | 10.4  |
| 13                           | Маркировочная станция           | пр-час   | 8.8   |
| 14                           | Скважинные устройства           | м-ч      | 10.4  |
| 15                           | Транспортировочный<br>контейнер | м-ч      | 8.8   |
| 16                           | Пластоиспытатель                | пр-час   | 8     |
| 17                           | Цеховые затраты                 | %        | 15    |

Среднее время бурения составляет 30 дней, при этом трудоемкость комплексной партии, задействованной в проведении специальных исследований одной скважины, составляет 1728, чел. час, ИТР- 1152, чел. час.

В таблицу 8 сведено необходимое оборудование для обслуживания скважин.

Таблица 8- Тип и количество установок

| Установка  | ОКЕИ | Количество |
|--|------|------------|
| 1  | 2    | 3          |
| Самоходное каротажное<br>подъемное устройство<br>ПКС-3,5 М | шт   | 1          |
| Каротажная установка<br>«Кедр-02/1.5В»                     | шт   | 1          |
| Laptop   | шт   | 1          |
| Спутниковый аппарат  | шт   | 1          |

| 1                        | 2  | 3 |
|--------------------------|----|---|
| Диск (магнитооптический) | шт | 1 |
| <b>Приборы</b>           |    |   |
| “К1А-723М”               | шт | 2 |
| ИОН-1(ИОН-1 + ГК)”       | шт | 2 |
| «ВАК-8»                  | шт | 2 |
| «БКС»                    | шт | 2 |
| «Кедр-80СКПД»            | шт | 2 |
| «ЦМ-8-12-Ц»              | шт | 1 |
| «СГП2-Агат»              | шт | 1 |
| «СГДТ»                   | шт | 1 |

## **9.2. Структура подразделения**

Главным подразделением предприятия выступает партия. Руководство партии выполняет начальник партии. Состав комплексной каротажной партии:

- Инженерно-технический работник (ИТР)
  - Лидер партии (начальник);
  - Геофизический работник;
  - Ассистент геофизика.
- Рабочий персонал
  - Специалист по проведению каротажных исследований;
  - Машинист подъемной каротажной установки.

## **9.3. Расчет сметы**

Проект не может быть реализован без инвестиций и как результат, заказчик должен покрыть все требуемые затраты. Расчет сметы производится

исполняющей организацией. От количества включенных расходов зависит экономический потенциал проекта.

Таблица 9 – Расчет сметы

| №                   | Вид работ            | Объем проводимых исследований |            | Цена каротажа | ОКЕИ     | Повышающий множитель |                                  | Итого, рублей |
|---------------------|----------------------|-------------------------------|------------|---------------|----------|----------------------|----------------------------------|---------------|
|                     |                      | ОКЕИ                          | Количество |               |          | К <sub>удор.</sub>   | К <sub>норм</sub> <sup>Усл</sup> |               |
| 1                   | 2                    | 3                             | 4          | 5             | 6        | 7                    | 8                                | 10            |
| 1                   | Плотностной каротаж  | м                             | 2396.04    | 321           | руб/100м | 3.38                 | 1.2                              | 7594          |
| 2                   | Акустический каротаж | м                             | 2396.04    | 78.14         |          | 3.38                 | 1.2                              | 31196         |
| 3                   | Транспорт            | км                            | 150        | 21.9          | руб/км   | 1.51                 | 1.15                             | 13324         |
| 4                   | Тех.контроль         | п/ч                           | 12         | 278.7         | руб/п.ч  | 2.28                 | 1.15                             | 3565          |
| <b>Итого- 65679</b> |                      |                               |            |               |          |                      |                                  |               |

Полная стоимость проведенных ГИС на скважине № 472 составляет 65679 Рублей.

В процессе выполнения ГИС предполагается использовать станцию Урал-4320, отчисления на топливо составляют 17268 рублей. Оплата расходов связанным с контролем и интерпретации производится в объеме полной стоимости каротажных работ. Камеральные затраты составляют 65679 рублей.

Таблица 10 – Итоговая смета расходов работ

| № | Вид работ                 | Стоимость, рублей |
|---|---------------------------|-------------------|
| 1 | Итого работ в скважине    | 65679             |
| 2 | Выездные работы           | 32840             |
| 3 | Транспортировка           | 17268             |
| 4 | Итого (пункт1-3)          | 115787            |
| 5 | Плановые накопления (20%) | 23157.28          |
| 6 | Внеплановые расходы (3%)  | 3474              |
| 7 | Итого по смете            | 142417.3          |
| 8 | НДС (18%)                 | 23653,11          |
| 9 | С учетом НДС              | 168052.4          |

## **10. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ**

Ответственность это способность определенного субъекта отвечать за действия и поступки. Выделяют следующие виды ответственности: финансовая, юридическая, уголовная и общественная.

Корпоративная социальная ответственность (КСО) это концепция, учитывающая интересы группы лиц (общества), при этом возлагая обязательства за влияние их деятельности на фирмы и иные имеющие интерес стороны общественной сферы (ICCSR 26000:2011 «Социальная ответственность организации»).

Крапивинское месторождение включает в себя фонд из 165 скважин. Лишь на 27 скважинах со всего фонда имеются акустические и плотностные исследования. В связи с этим, проведение дополнительных исследований может стать источником вредных и опасных факторов.

### **10.1. Производственная безопасность**

В процессе проведения ГИС, работник может быть подвержен множеству различных опасных воздействий, которые могут нанести ущерб и вред здоровью косвенно или напрямую. Данные опасности подразделяются на вредные и опасные производственные факторы.

Опасные производственные факторы — это такие воздействия, которые приводят травме или летальному исходу.

Вредные производственные факторы — это воздействия, влияние которых негативно сказывается на организм, а именно приводит к различным видам заболеваний, а также усугубление уже имеющихся.

Основные виды вредных и опасных производственных факторов встречающихся при проведении геофизических исследований приведены в Таблице 11.

Таблица 11- Основные вредные и опасные производственные факторы

| Стадия           | Вид плановых работ                   | Факторы (ГОСТ 12.0.00374)<br>[14]                    |   | Нормативные акты  |
|------------------|--------------------------------------|--|---|---|
|                  |                                      | Опасные  | Вредные   |   |
| 1                | 2                                    |  | 4   | 5   |
| Полевые работы   | бурение;<br>газовый каротаж;<br>ГИС. | электроток;<br>подвижные элементы системы;<br>пожар. | высокий уровень шума;<br>высокий уровень излучения. | ГОСТ 12.4.125-83[15];<br>ГкОСТ 12.1.003–83[16]                                    |
| Камеральный этап | анализ результатов испытаний         | электроток;<br>пожар.                                | слабая освещенность                                 | СанПиН 2.2.4.548-96 [17];<br>СНиП 23-05-95 [18];<br>СанПиН 2.2.1/2.1.1.127803[19] |

## 10.2. Анализ и мероприятия по устранению опасных производственных факторов

К опасным производственным факторам относят факторы, которые в определенных условиях могут привести к отравлению, травме и иному ухудшению здоровья.

### 10.2.1. Полевая стадия

#### *Электрический ток*

В процессе проведение ГИС на этапе полевых работ используют установки, работающие под высоким напряжением. Как следствие работники

подвержены опасности получения электротравмы как при прямом контакте с токоведущим элементом, так и посредством соприкосновения иных элементов электрической цепи. Степень ухудшения состояния здоровья зависит от силы тока, времени контакта, частоты тока и индивидуальных особенностей организма человека. Воздействие тока может привести как к термическим ожогам, так и к электрическим и биологическим.

Установки, работающие под высоким напряжением, должны быть изготовлены и установлены принимая во внимание требования электробезопасности.

Способы защиты при эксплуатации электроустановок:

1. высокая квалификация персонала в сфере эксплуатации объектов высокого напряжения;
2. профилактика и контроль повреждения элементов изоляции;
3. использование аварийных выключателей, тумблеров.

*Подвижные механизмы и элементы производственного оборудования*

Полевые инженеры подвержены различным видам травм, возникающих при работе с подвижными конструкциями. Эксплуатация, установка и конструкция геофизического оборудования должно выполняться в соответствии с ГОСТ 12.4.125-83.

Скорость вращения является основным параметром, характеризующий опасность при работе с подвижными элементами конструкции.

Каротажные установки должны быть выполнены высококвалифицированными специалистами для того, чтобы избежать происшествий и несчётных случаев при их эксплуатации. Также все поврежденные элементы установки обязательно заменяются или приводятся в исправное состояние.

## **10.2.2. Камеральный этап**

### *Электрический ток*

На камеральном этапе выполняется анализ и интерпретация полученных результатов. На данной стадии возможно получить электротравмы при работе с вычислительными машинами (ЭВМ) и контакте с блоками питания. Все компоненты блоков питания, ЭВМ и т.д. должны быть установлены и эксплуатироваться в соответствии с ГОСТ 12.1.019-79.

Методы защиты при эксплуатации электроустановок:

1. высокая квалификация персонала в сфере эксплуатации объектов высокого напряжения;
2. профилактика и контроль повреждения элементов изоляции;
3. использование аварийных выключателей, тумблеров.

## **10.3. Мероприятия и анализ вредных производственных факторов**

### **10.3.1. Полевой этап**

#### *Отклонение параметров микроклимата на открытом воздухе.*

Метеоусловия — это состояние окружающей воздушной среды, которое определяется рядом факторов, таких как: температура, скорость движения воздушных масс, атмосферное давление, влажность и уровень теплового излучения.

Влияние метеоусловий на человеческий организм может привести при определенных условиях к ухудшению состояния, снижению работоспособности и общему снижению тонуса, в иных же к улучшению продуктивности. Геофизические исследования скважин производятся на открытом воздухе и как результат работник подвержен влиянию метеоусловий. Данные обстоятельства могут привести к ухудшению качества проводимых исследований

В процессе работы на открытом пространстве возможность защиты от воздействия метеоусловий является ограниченным. Принимая это во внимание существуют стандарты, в которых предусмотрено:

1. Нормы граничных значений показателей метеоусловий (температура, давление и т.д.);
2. Нормы труда и отдыха;
3. Нормы пребывания работником на открытом воздухе, применительно к районам Крайнего севера.

Проведение геофизических исследований скважин запрещено в условиях низких температур, шторма и т.д.

#### **10.4. Превышение уровня шума**

Производственный шум возникает в результате различного вида вибраций, в том числе сейсмических, и вращения элементов установок и как результат это может привести к снижению работоспособности. Существуют нормы и стандарты, регулирующие уровень шума на производстве, таблица12  
Таблица 12- нормы уровня шума на производстве

| Рабочее место | Уровень звукового давления, децибел |    |     |     |     |      |      |      |
|---------------|-------------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|
|               | 31.5                                | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| На площадке   | 107                                 | 95 | 87  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   |

Наиболее распространенное средство защиты от производственного шума является использование специальных (технических) наушников.

#### **10.5. Превышение уровня ионизирующего излучения**

Проведение ГИС предполагает использование различных радиоактивных источников, так используются элементы гамма-излучения в

процессе проведении ГПП и иных ГК операций. Существуют нормы, контролируемые время работы с радиоактивными веществами, их концентрацию, а также способ проведения исследований. В целях снижения получаемой дозы радиации следует придерживаться следующих норм:

1. использовать источник ионизирующего излучения с наименьшей требуемой радиоактивностью;
2. сократить время работы с источником излучения;
3. контролировать уровень радиации;
4. использовать различные меры предохранения.

### **10.5.1. Камеральный этап**

#### *Недостаток освещенности рабочего места*

Недостаточное освещение рабочего пространства приводит к ухудшению в работе зрительного аппарата, следствием чего является снижение стрессоустойчивости и общей производительности работника. СНиП 23-05-95 и СанПИН 2.2.1/2.1.1.1278-03 используются для оценки уровня освещенности рабочего пространства.

### **10.6. Экологическая безопасность**

Проведение геофизических исследований скважин имеет следующее влияние на окружающую среду:

1. загрязнение поверхностных вод;
2. повреждение почвенного покрова;
3. загрязнение вод Сенноманского горизонта.

Геофизические операции должны быть выполнены с учетом всех требований по уменьшению негативного влияния на окружающую среду, СНиП1.02.01-85.

## 10.7. Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Под чрезвычайной ситуацией (ЧС) понимают обстановку на конкретной территории, сложившаяся из-за природного явления, аварии, катастрофы или стихийного бедствия, повлёкшая за собой ущерб организации, человеческие жертвы.

Все работники предприятия должны быть осведомлены с возможными ЧС и знать меры предосторожности и план действия во время ЧС. Чаще всего встречаются ЧС, связанные с возгоранием каких-либо производственных конструкций. Принимая последнее во внимание, основные источники возникновения пожара на производстве рассмотрены ниже.

Причины возникновения пожара на месторождении:

1. неосторожное обращение с легковоспламеняемыми элементами;
2. игнорирование правил или некорректное использование элементов конструкций, находящихся под высоким напряжением;
3. перегрев нагревательных конструкций;
4. наличие разрядов статического и атмосферного электричества, чаще всего возникающих при отсутствии заземления и молниеотводов;
5. неисправность производственного оборудования и нарушение технологического процесса.

В ГОСТ 12.1.004-91 представлены нормы и стандарты регулирующие основные действия во время пожара.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены и решены следующие задачи:

1. восстановление кривых плотностного и акустического каротажа с помощью алгоритмов машинного обучения на реальном объекте разработки;
2. сравнение результатов синтезирования кривых методами машинного обучения и эмпирических уравнений;
3. сравнение точности прогнозирования данных ГИС алгоритмами случайного леса и нейронной сети;
4. обоснование эффективности и универсальности применения методов машинного обучения;
5. оценка экономического прироста и снижения негативного влияние на окружающую среду.

Каротажные кривые синтезированы как на тренировочном объекте (Шестаковский комплекс (4)), так и на действующем объекте разработки (Крапивинское месторождение (5)). Сходимость эталонной и восстановленной кривой лучше на данных Шестаковского комплекса, нежели чем на данных Крапивинского месторождения, ввиду малого объема признакового пространства и синтетической природы кривых (данные идеальны, шумы и выбросы отсутствуют). Корреляция кривых, синтезированных на Крапивинском месторождении, очень высокая, более 90 %, для алгоритма случайного леса даже при минимальной базе тренировочной выборке, 10%, и неудовлетворительная для нейронной сети, 40%, Приложение И. Принимая последнее во внимание, рекомендуется в дальнейшем использовать алгоритм случайного леса для прогнозирования кривых ГИС, или же нейронной сети, но с тщательной настройкой признакового пространства и параметров вариации,

ввиду сильной чувствительности метода к флуктуации кривых входящих в признаковое пространство.

Прогноз данных ГИС при помощи алгоритма случайного леса имеет лучшую сходимость, чем кривые, спрогнозированные эмпирическим путем т.к. в процессе прогнозирования данных ГИС, алгоритм случайного леса генерирует множество ответов, кластеризует их на группы и усредняет результаты. Группа, дающая наибольшую сходимость данных, формирует окончательный результат.

Доказано, эмпирика имеет ряд ограничений и не может использоваться повсеместно из-за её привязки к определенным кривым ГИС, отсутствия керновых данных на ряде скважин и невозможности учесть все физические факторы. Примером превосходства использования алгоритмов машинного обучения над эмпирическими зависимостями для задач синтеза является сходимость кривых плотностного каротажа на скважине 508 Крапивинского месторождения алгоритмом случайного леса составляет 98%. Синтезирование плотностного каротажа с помощью уравнения Гарднера-Кастанье невозможно ввиду отсутствия данных для синтеза. Корреляция акустического каротажа- 97% для случайного леса, -57% с использованием методики Зеляева и 51% уравнения Фауста.

Алгоритмы машинного обучения являются универсальными, в связи с простотой их использования, возможностью работы как с большим объемом признакового пространства, так и с малым (6), прогнозированием данных различных каротажных кривых независимо от их физической сущности, а также возможность внедрить их на различные объекты разработки(5), где эмпирические зависимости не работают. Главы 7 и 8, подтверждают эффективность внедрения данных алгоритмов и подчеркивают невозможность применения эмпирических зависимостей на Крапивинском месторождении.

Экономический прирост в самых приближенных оценках дает 168052.4 рублей со скважины (9), что также свидетельствует о целесообразности

применения МО для получения данных, тем самым значительно сокращая время и затраты и, как результат, увеличивая экономический прирост проекта.

Синтез геофизической информации методами МО снижает до нуля негативное влияние на окружающую среду (10), в связи с отсутствием негативных фактов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Reservoir properties from well logs using neural networks. Alpana B.// Norwegian University of Science and Technology: A dissertation for the partial fulfilment of requirements for the degree of Doctor Ingenior at the Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics, 2002, p. 104.
2. Application of synthetic observations to develop an artificial neural network for mine dewatering. Sage N, Jean-Marie L., Adalbert M., Jean-Felix K.// International Research Journal of Engineering and Technology, 2017, p. 5.
3. Quantitative log interpretation and uncertainty propagation of petrophysical properties and facies classification from rock-physics modeling and formation evaluation analysis. Grana D., Pirrone M., Murkerji T.// Geophysics, 2012, p. 19.
4. Роль и значение классической интерпретации и современного моделирования физических свойств горных пород в прогнозе свойств коллекторов при помощи методов сейсмических инверсий. Федотов С., Копылов М., Некрасова Т.//Москва «Fagro»,2012, с.48.
5. Прогнозирование скоростной модели по данным ГИС. Зайцев С.А., Сысоев А.П.// Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный университет, 2016, с. 5.
6. Биостратиграфическая характеристика отложений горизонта Ю-1 Крапивинского нефтяного месторождения. О.С. Чернова, Е.А. Жуковская. // Томск: Томский политехнический университет, ОАО «ТомскНИПИнефть», 2010, с. 6.
7. Нефтегазовое обозрение. Стюарт Л., Вархог М., Флатерн Р., Нолен-Хоксема Р., Смитсон Т., Федер Д., Оппенгеймер Д., Роттенберг.// Schlumberger,2012. С.76.

8. Predicting density using Vs and Gardner's relationship. Dey A.K., Stewart R.R.// Crews Research Report, 1997, p.9.

9. Применение кластеризации для петрофациального анализа на примере месторождения провинции Загрос. Морозов В.В., Парфенов Н.А., Мельникова О.А.// Санкт-Петербург: Научно-Технический центр «Газпромнефть», 2018, с. 10.

10. Фундаментальные и статистические взаимосвязи в петрофизики и проблематика сравнения сходных петрофизических взаимосвязей. Еникеев Б.Н., Охрименко А.Б., Смирнов О. А.// Москва: НТВ «Каротажник» №7, 2011, с. 23.

11. Уточнение физико-геологической модели месторождения с помощью акустических инверсионных преобразований данных сейсморазведки. Смирнов В.Н., Малышевская Т.С., Романов Д.В.//Москва «Нефтяное хозяйство» №11, 2010, с. 31.

12. Прогноз распределения плотности горных пород по данным нейтронного каротажа. Береснева С.А., Вахитова Г.Р., Полюдова Н.Ю.//Уфа: Башкирский государственный университет, 2017, с. 3.

13. Pattern Recognition and Machine Learning. Bishop C.M.// Springer New York, 2016, p. 738.

14. Python Machine Learning. Raschka S., Mirjalili V.// Birmingham «Packt Publishing Ltd», 2017, p. 622.

15. Python Machine Learning By Example. Liu Y.// Birmingham «Packt Publishing Ltd», 2017, p. 254.

16. Производственно-отраслевые сметные нормы на геофизические услуги в скважинах на нефть и газ ПОСН 81-2-49.// Москва «Министерство топлива и энергетики Российской Федерации», 2000.

17. ГОСТ 12.0.003-74. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.

18. ГОСТ 12.4.125-83. ССБТ. Средства коллективной защиты работающих от воздействия механических факторов Классификация.

19. ГОСТ 12.1.003–83 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

20. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.

21. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение.

22. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.

23. ГОСТ 12.4.009-83. Система стандартов безопасности труда. Пожарная техника для защиты объектов. Основные виды. Размещение и обслуживание.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А-Синтез плотностной кривой «гарднер-кастанья»

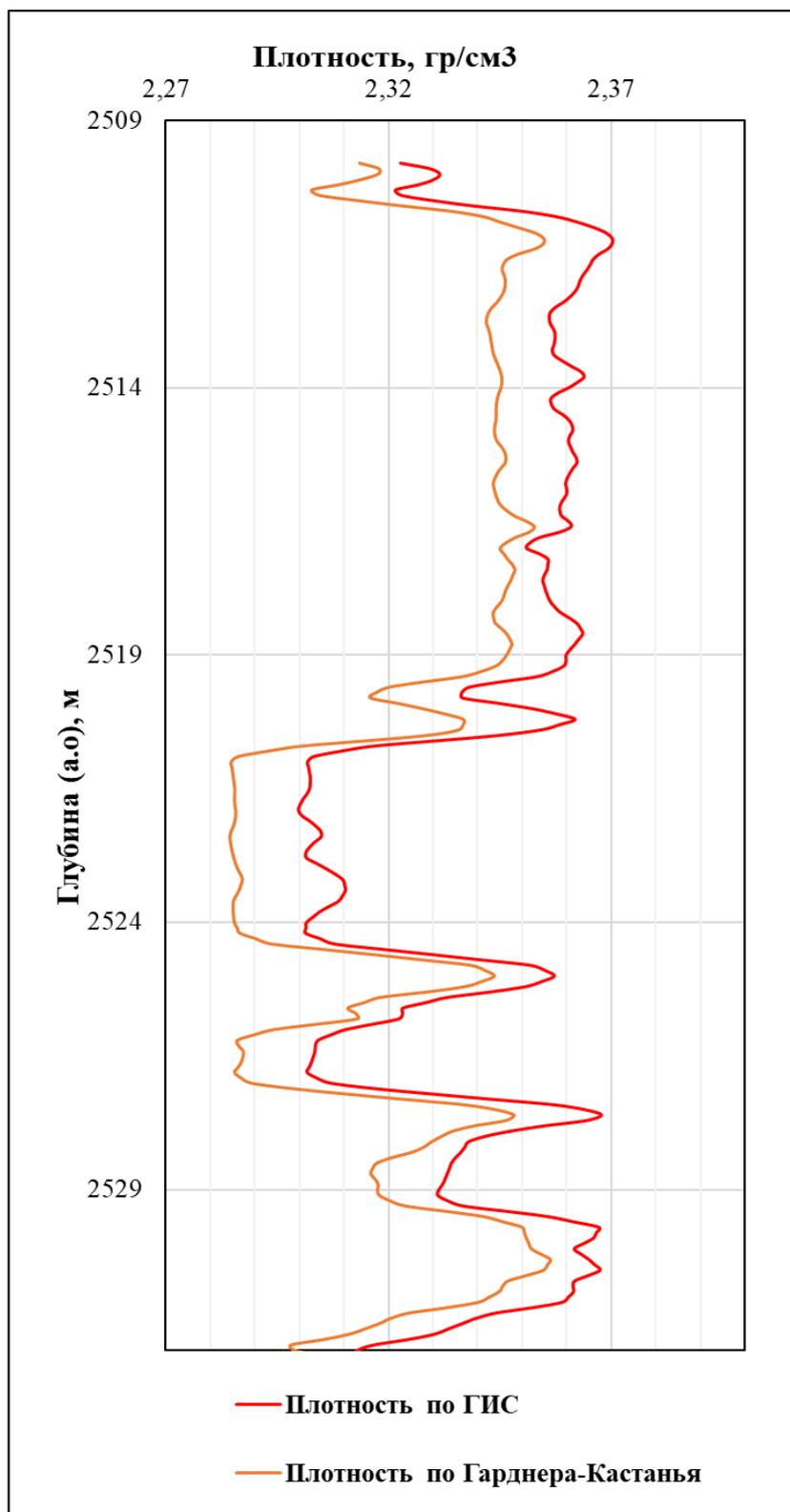


Рисунок А 1- Синтетическая кривая плотности, ур.Гарднера-Кастанья

**ПРИЛОЖЕНИЕ В-Анализ чувствительности «нейронная сеть» акустический каротаж**

Таблица 1В- Анализ чувствительности R2

| Параметр | Скорость обучения, A |         |       |         |         | Количество нейронов скрытого слоя |       |       | Тип разрешающего алгоритма |       |          |       |       |          |                         |       |          | Акустика |         |  |  |
|----------|----------------------|---------|-------|---------|---------|-----------------------------------|-------|-------|----------------------------|-------|----------|-------|-------|----------|-------------------------|-------|----------|----------|---------|--|--|
|          |                      |         |       |         |         |                                   |       |       | Функция активации          |       |          | Relu  |       |          | Гиперболический тангенс |       |          |          | Сигмоид |  |  |
|          | 1,0                  | 0,700   | 0,1   | 0,00010 | 0,00001 | 10                                | 100   | 1000  | Adam                       | SGD   | L-BFGS-B | Adam  | SGD   | L-BFGS-B | Adam                    | SGD   | L-BFGS-B |          |         |  |  |
| Значение |                      |         |       |         |         |                                   |       |       |                            |       |          |       |       |          |                         |       |          |          |         |  |  |
| MSE      | 4,315                | 4,222   | 3,684 | 3,662   | 3,658   | 4,537                             | 3,694 | 3,658 | 3,686                      | 4,239 | 4,604    | 3,810 | 4,280 | 4,294    | 3,817                   | 3,875 | 3,960    |          |         |  |  |
| RMSE     | 2,077                | 2,055   | 1,919 | 1,914   | 1,913   | 2,13                              | 1,922 | 1,913 | 1,920                      | 2,059 | 2,146    | 1,952 | 2,069 | 2,072    | 1,954                   | 1,968 | 1,990    |          |         |  |  |
| MAE      | 1,550                | 1,528   | 1,377 | 1,371   | 1,363   | 1,606                             | 1,37  | 1,363 | 1,375                      | 1,492 | 1,621    | 1,402 | 1,539 | 1,550    | 1,400                   | 1,440 | 1,454    |          |         |  |  |
| R2       | 0,968                | 969,000 | 0,973 | 0,973   | 0,975   | 0,967                             | 0,973 | 0,973 | 0,975                      | 0,969 | 0,966    | 0,972 | 0,969 | 0,968    | 0,972                   | 0,972 | 0,971    |          |         |  |  |

Таблица 2В-Зависимость R2 от объема тренировочной выборки

| Параметр | Тренировочная выборка, % |       |       |       |
|----------|--------------------------|-------|-------|-------|
|          | 100                      | 70    | 50    | 20    |
|          | Значение                 |       |       |       |
| MSE      | 3,686                    | 3,699 | 3,698 | 3,710 |
| RMSE     | 1,920                    | 1,923 | 1,923 | 1,925 |
| MAE      | 1,375                    | 1,378 | 1,382 | 1,391 |
| R2       | 0,975                    | 0,973 | 0,973 | 0,970 |

## ПРИЛОЖЕНИЕ С-Восстановленные кривые плотностного каротажа при помощи нейронной сети

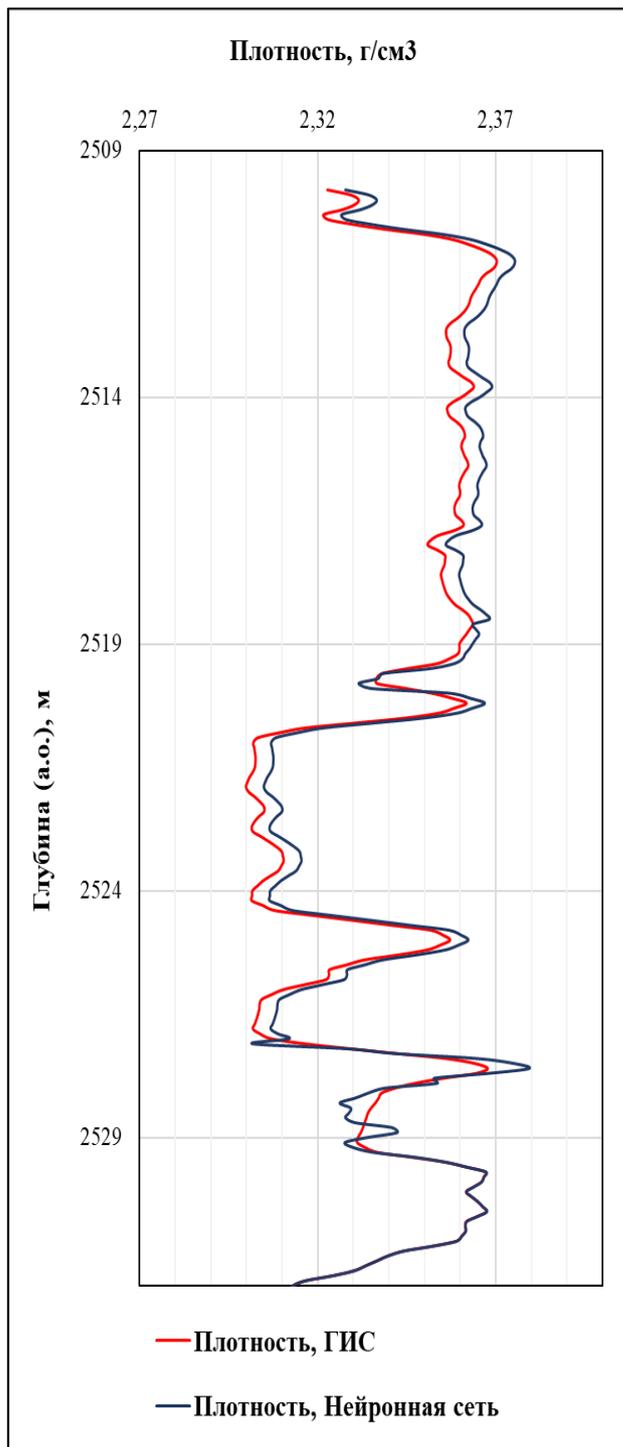


Рисунок С 2- Синтезированная кривая плотности с помощью Нейронной сети, 100% тренировочная выборка.

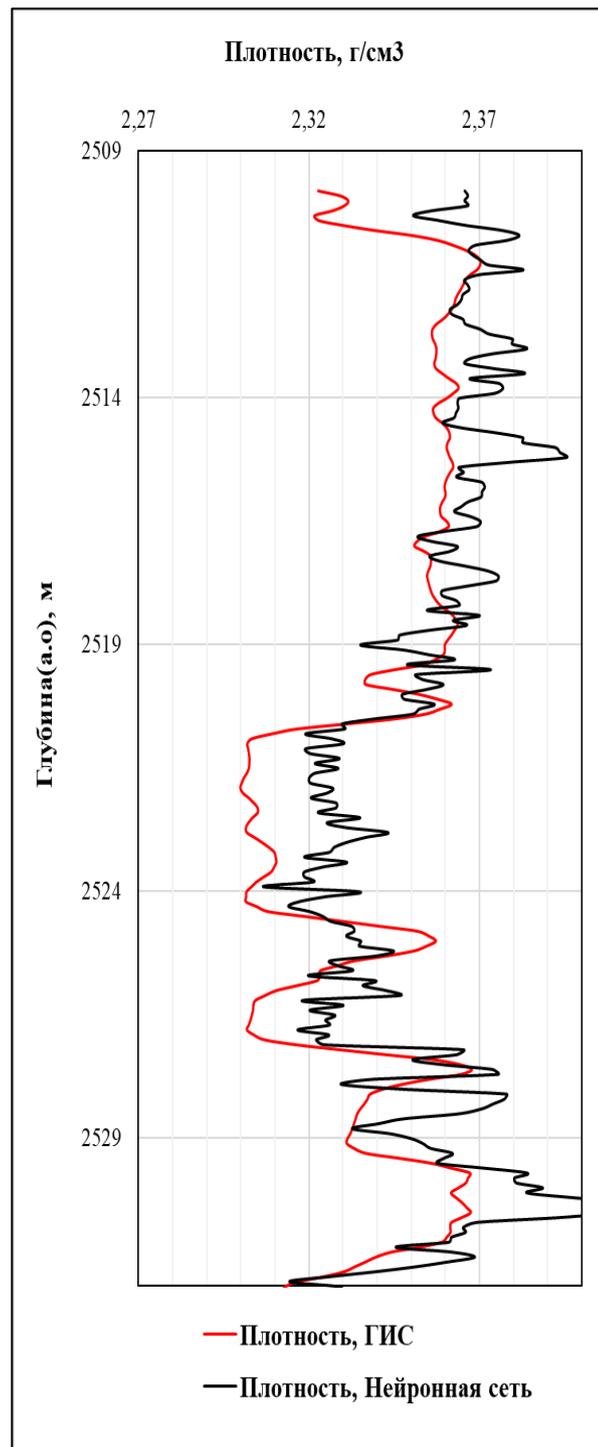


Рисунок С 1 Синтезированная кривая плотности с помощью Нейронной сети, 20% тренировочная выборка.

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ С

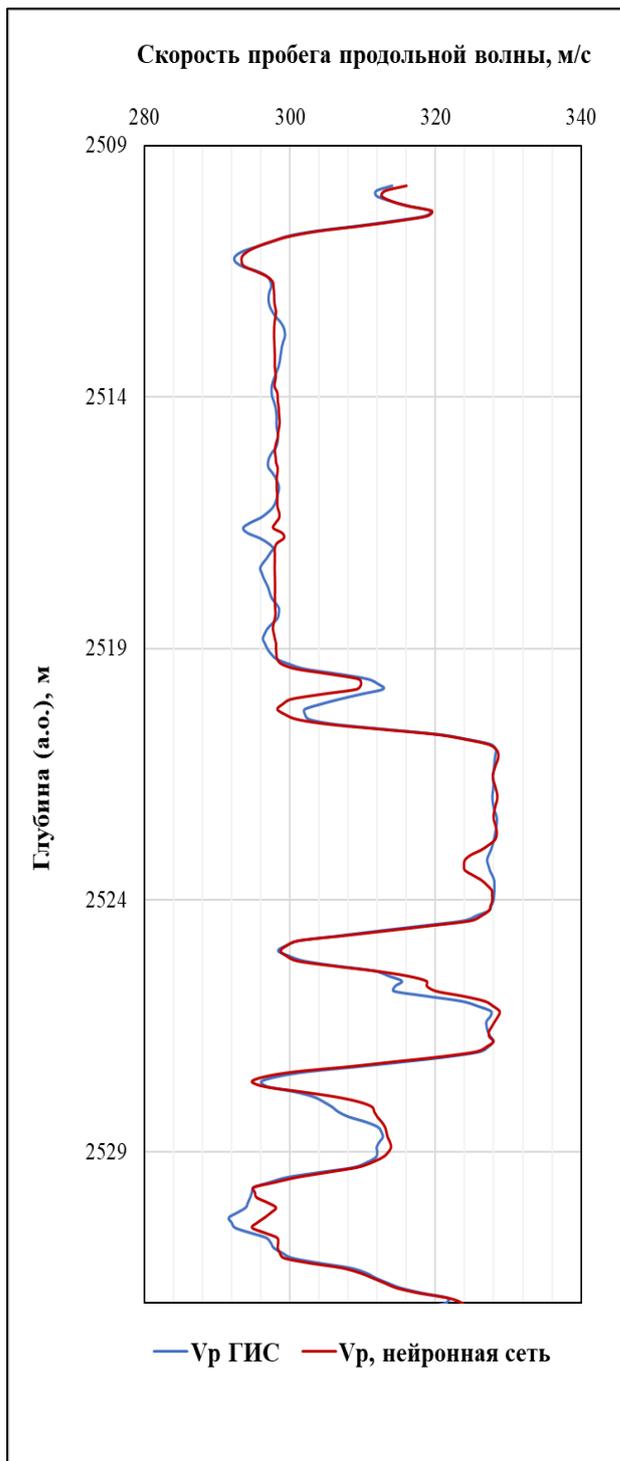


Рисунок С 4- Синтезированная кривая акустики с помощью Нейронной сети, 100% тренировочная выборка.

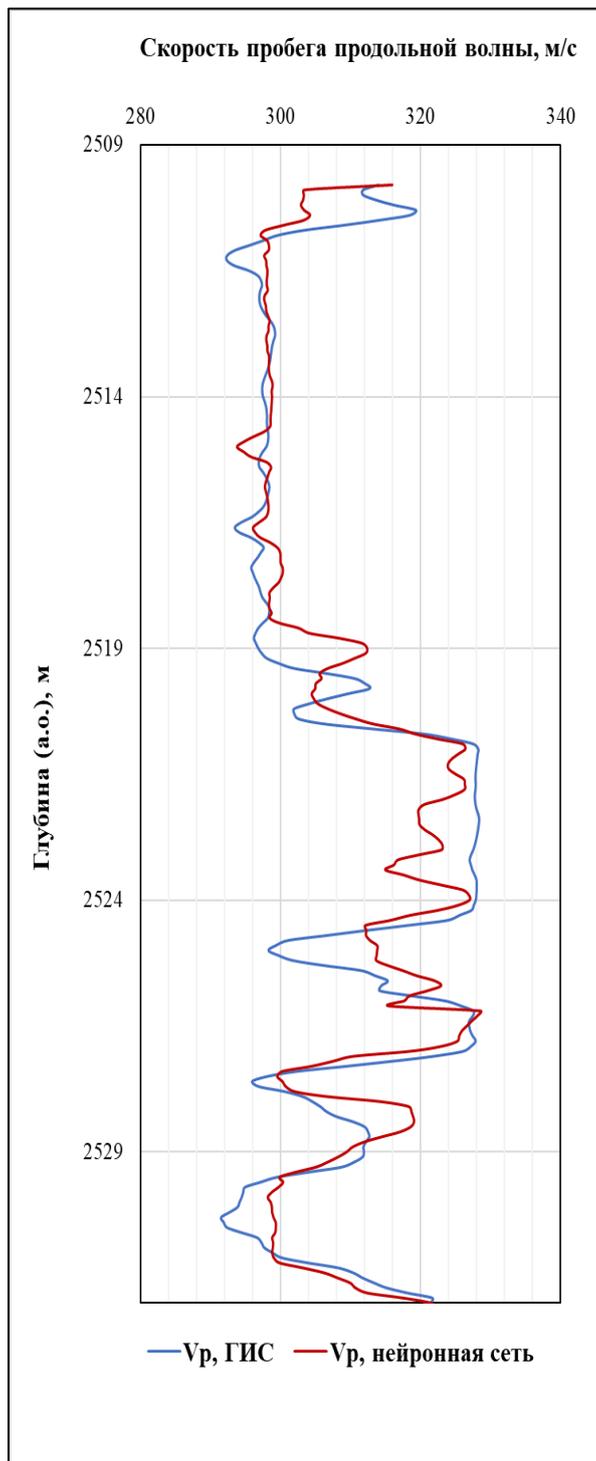


Рисунок С 3- Синтезированная кривая акустики с помощью Нейронной сети, 20% тренировочная выборка.

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д- Синтез данных акустического метода с помощью алгоритма случайного леса**

Таблица Д1 – акустический каротаж

| Объем тренировочной выборки (100%) |                        |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |
|------------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Параметр                           | Количество деревьев, N |       |       |       |       | Глубина индивидуального дерева, D |       |       |       |       | Количество случайных генераций, n |       |       |       |       |
|                                    | 5                      | 10    | 20    | 50    | 100   | 5                                 | 10    | 20    | 50    | 100   | 5                                 | 10    | 20    | 50    | 100   |
|                                    | Значение               |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |
| MSE                                | 3,888                  | 3,876 | 3,871 | 3,866 | 3,866 | 3,888                             | 3,215 | 1,762 | 1,188 | 1,083 | 3,888                             | 3,887 | 3,901 | 3,893 | 3,888 |
| RMSE                               | 1,972                  | 1,969 | 1,968 | 1,966 | 1,966 | 1,972                             | 1,793 | 1,328 | 1,090 | 0,716 | 1,972                             | 1,972 | 1,975 | 1,973 | 1,972 |
| MAE                                | 1,406                  | 1,404 | 1,403 | 1,403 | 1,403 | 1,406                             | 1,261 | 0,934 | 0,722 | 1,172 | 1,406                             | 1,408 | 1,410 | 1,410 | 1,409 |
| R2                                 | 0,909                  | 0,909 | 0,909 | 0,909 | 0,909 | 0,909                             | 0,925 | 0,959 | 0,972 | 0,980 | 0,909                             | 0,909 | 0,908 | 0,909 | 0,909 |
| Базовый вариант: N-5 ;D-5; n-5.    |                        |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |

Таблица Д2 – оптимальная структура случайного леса (акустический каротаж)

| Комбинированный вариант, при D=50; N=100; Z=5; n=10 |                     |       |       |       |       |
|---|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| Параметр  | Тестовая выборка, % |       |       |       |       |
|   | 100                 | 70    | 50    | 20    | 5     |
|   | Значение            |       |       |       |       |
| MSE   | 0,723               | 3,691 | 3,71  | 3,758 | 3,65  |
| RMSE  | 0,506               | 1,921 | 1,926 | 1,939 | 1,945 |
| MAE   | 0,522               | 1,349 | 1,353 | 1,362 | 1,72  |
| R2  | 0,988               | 0,913 | 0,913 | 0,912 | 0,912 |

**ПРИЛОЖЕНИЕ Е -Синтез данных плотностного метода с помощью алгоритма случайного леса**

Таблица Е1– плотностной каротаж

| Объем тренировочной выборки (100%) |                        |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |
|------------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-----------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| Параметр                           | Количество деревьев, N |       |       |       |       | Глубина индивидуального дерева, D |       |       |       |       | Количество случайных генераций, n |       |       |       |       |
|                                    | 5                      | 10    | 20    | 50    | 100   | 5                                 | 10    | 20    | 50    | 100   | 5                                 | 10    | 20    | 50    | 100   |
|                                    | Значение               |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |
| MSE                                | 0.129                  | 0.128 | 0.128 | 0.127 | 0.127 | 0.129                             | 0.095 | 0.047 | 0.032 | 0.025 | 0.128                             | 0.128 | 0.128 | 0.128 | 0.128 |
| RMSE                               | 0.359                  | 0.357 | 0.357 | 0.357 | 0.357 | 0.359                             | 0.308 | 0.256 | 0.2   | 0.12  | 0.357                             | 0.356 | 0.357 | 0.357 | 0.357 |
| MAE                                | 0.021                  | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021 | 0.021                             | 0.018 | 0.015 | 0.011 | 0.009 | 1,406                             | 0.021 | 0.02  | 0.021 | 0.021 |
| R2                                 | 0,063                  | 0,072 | 0,073 | 0,074 | 0,074 | 0,063                             | 0,312 | 0,959 | 0,972 | 0,980 | 0,909                             | 0,909 | 0,908 | 0,909 | 0,909 |
| Базовый вариант: N-5 ;D-5; n-5.    |                        |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |                                   |       |       |       |       |

Таблица Е2– оптимальная структура случайного леса (плотностной каротаж)

| Комбинированный вариант, при D=50; N=100; Z=5; n=10 |                     |       |       |       |       |
|---|---------------------|-------|-------|-------|-------|
| Параметр  | Тестовая выборка, % |       |       |       |       |
|   | 100                 | 70    | 50    | 20    | 5     |
|   | Значение            |       |       |       |       |
| MSE   | 0,723               | 3,691 | 3,71  | 3,758 | 3,65  |
| RMSE  | 0,506               | 1,921 | 1,926 | 1,939 | 1,945 |
| MAE   | 0,522               | 1,349 | 1,353 | 1,362 | 1,72  |
| R2  | 0,988               | 0,913 | 0,913 | 0,912 | 0,912 |

**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж- Анализ устойчивости плотностного каротажа при 100 % объеме тестовой выборки (Шестаковский яр)**

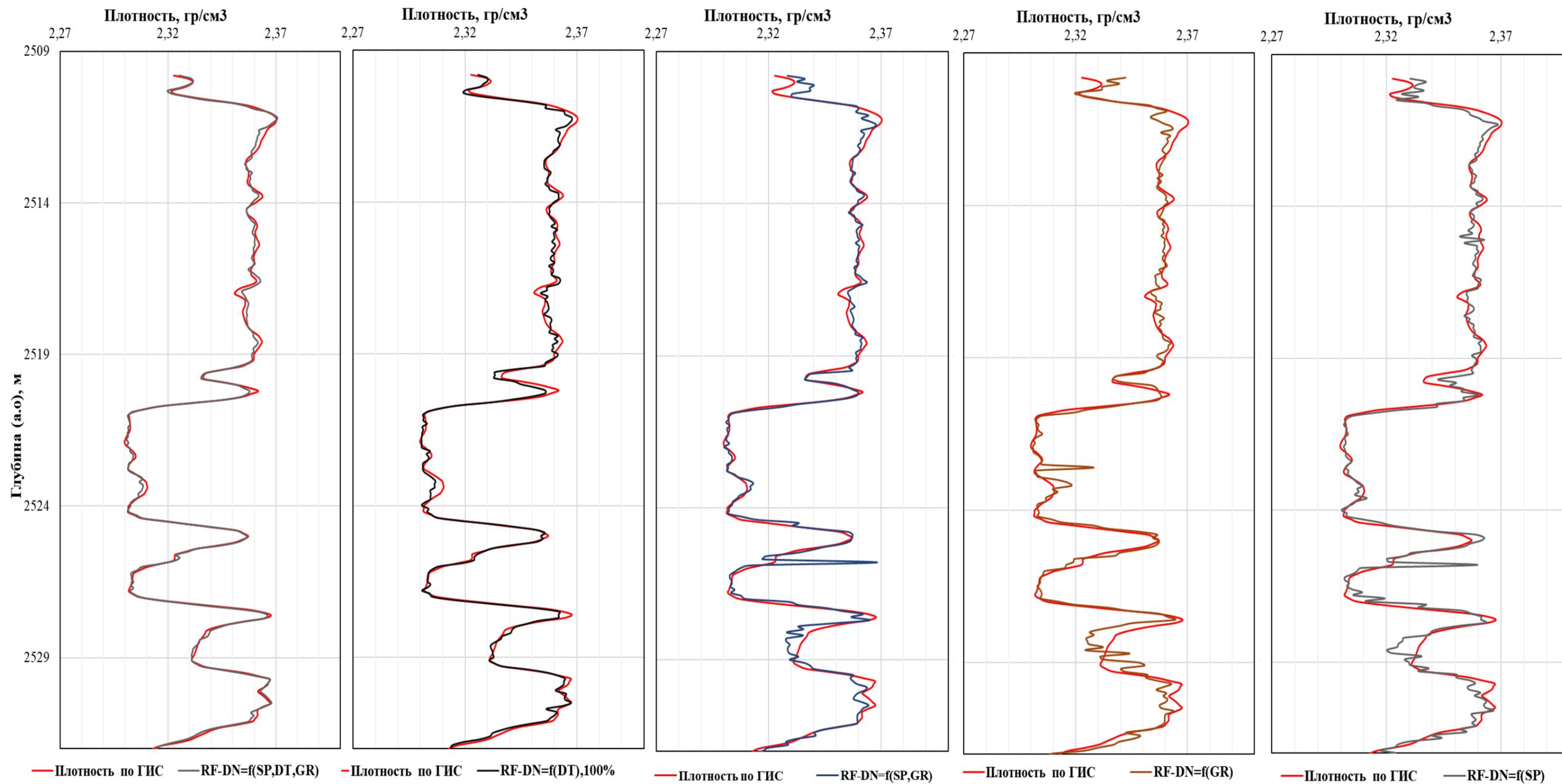


Рисунок Ж 1-Анализ устойчивости плотностного каротажа при 100% объеме тренировочной базы

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ Ж- ВОХ график (плотность)

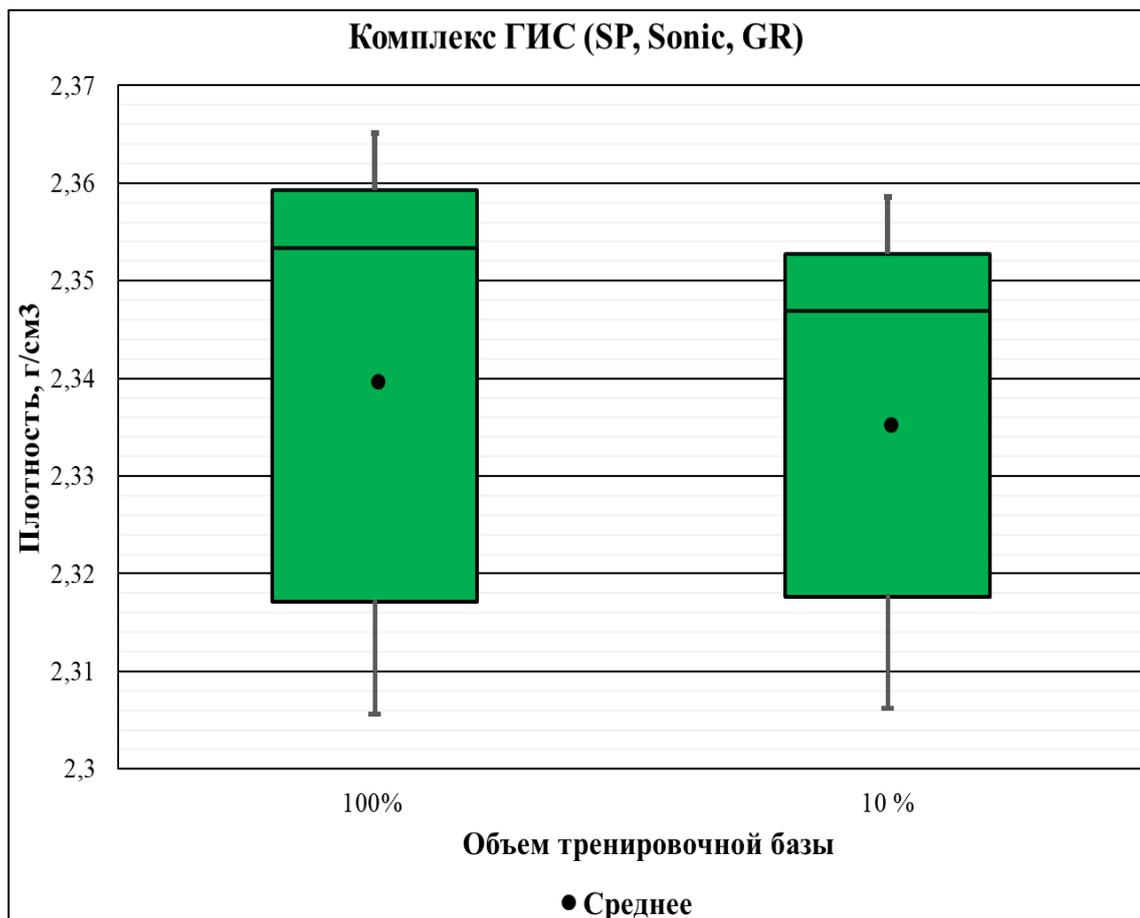


Рисунок Ж 3- Vox plot- Анализ устойчивости синтетического плотностного картожа

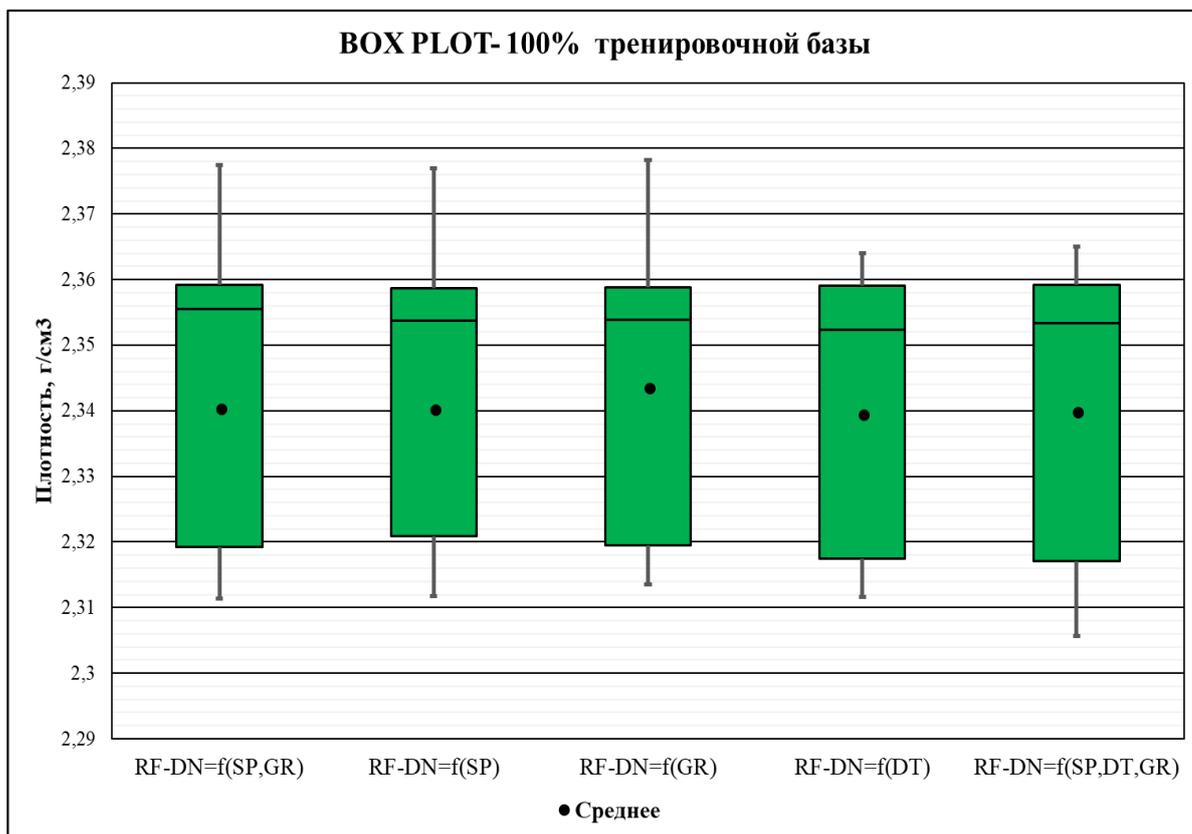


Рисунок Ж 2- Vox plot- Анализ устойчивости синтетического плотностного картожа,

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ Ж- Анализ устойчивости акустического каротажа при 20 % объеме тестовой выборки (Шестаковский яр)

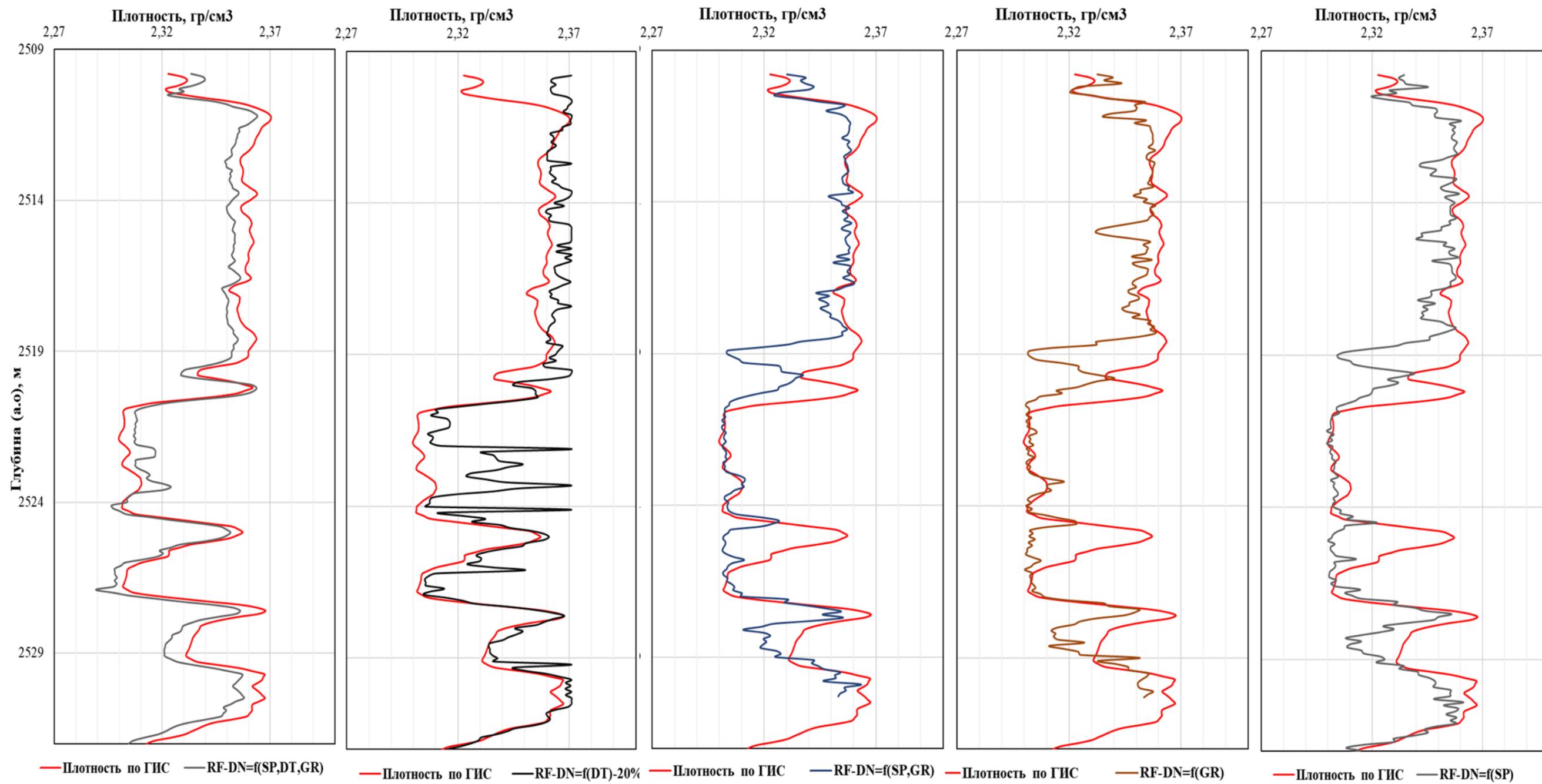


Рисунок Ж 4- Анализ устойчивости плотностного каротажа при 20% объеме тренировочной базы

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ Ж-ВОХ график (плотность)

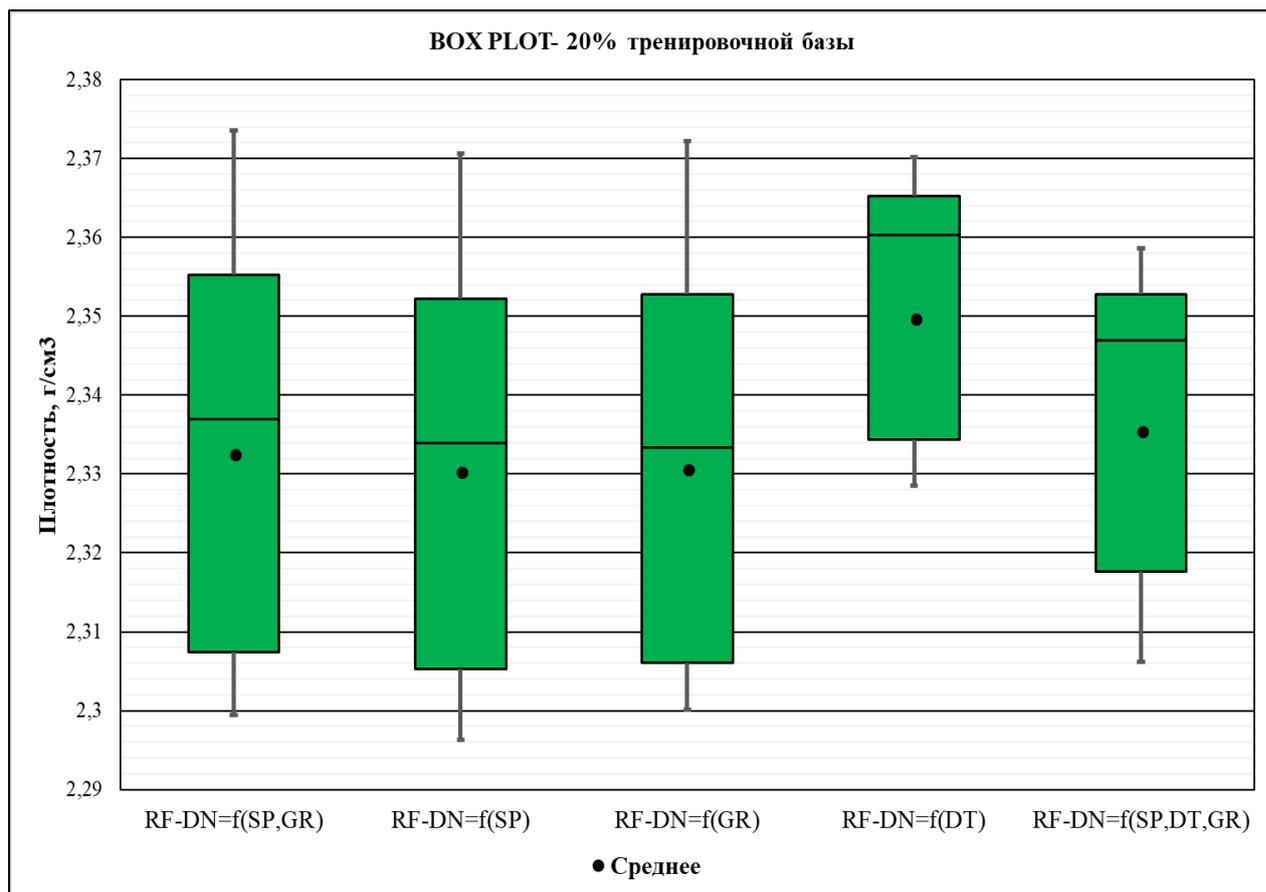


Рисунок Ж 5 Анализ устойчивости восстановления плотностного картожа

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ Ж- Анализ устойчивости акустического каротажа при 100 % объеме тестовой выборки (Шестаковский яр)

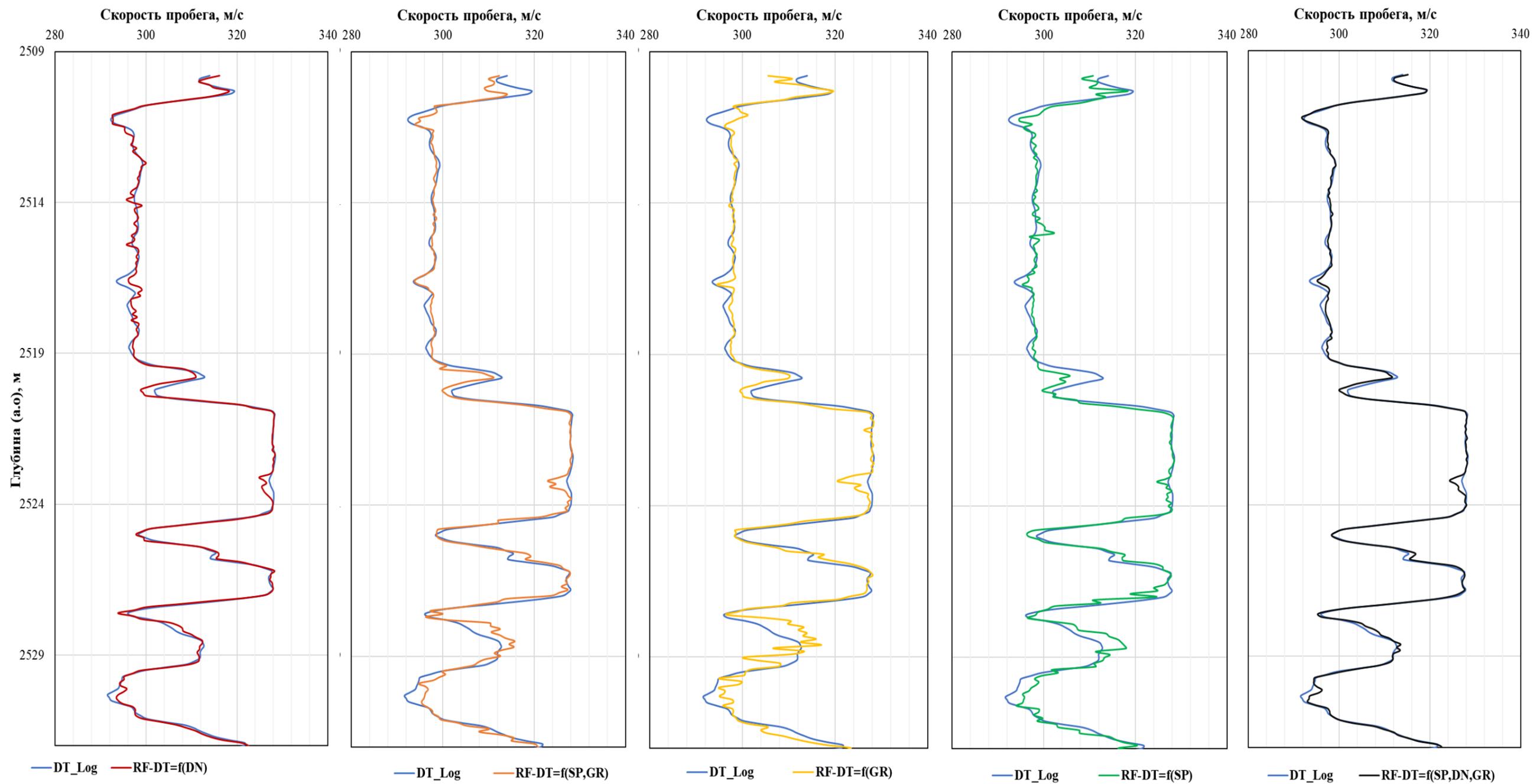


Рисунок Ж 6-Анализ устойчивости синтеза акустического каротажа

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ Ж-ВОХ график (акустика)

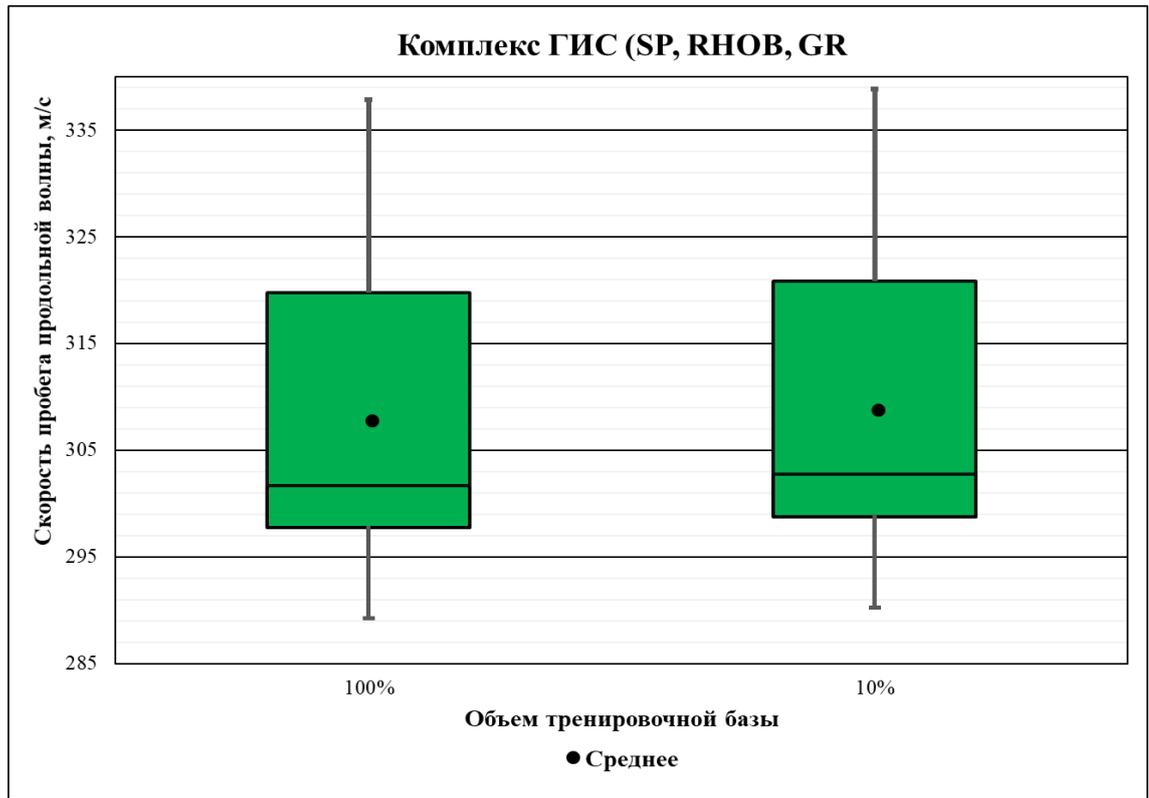


Рисунок Ж 8-Box plot- восстановление акустического каротажа

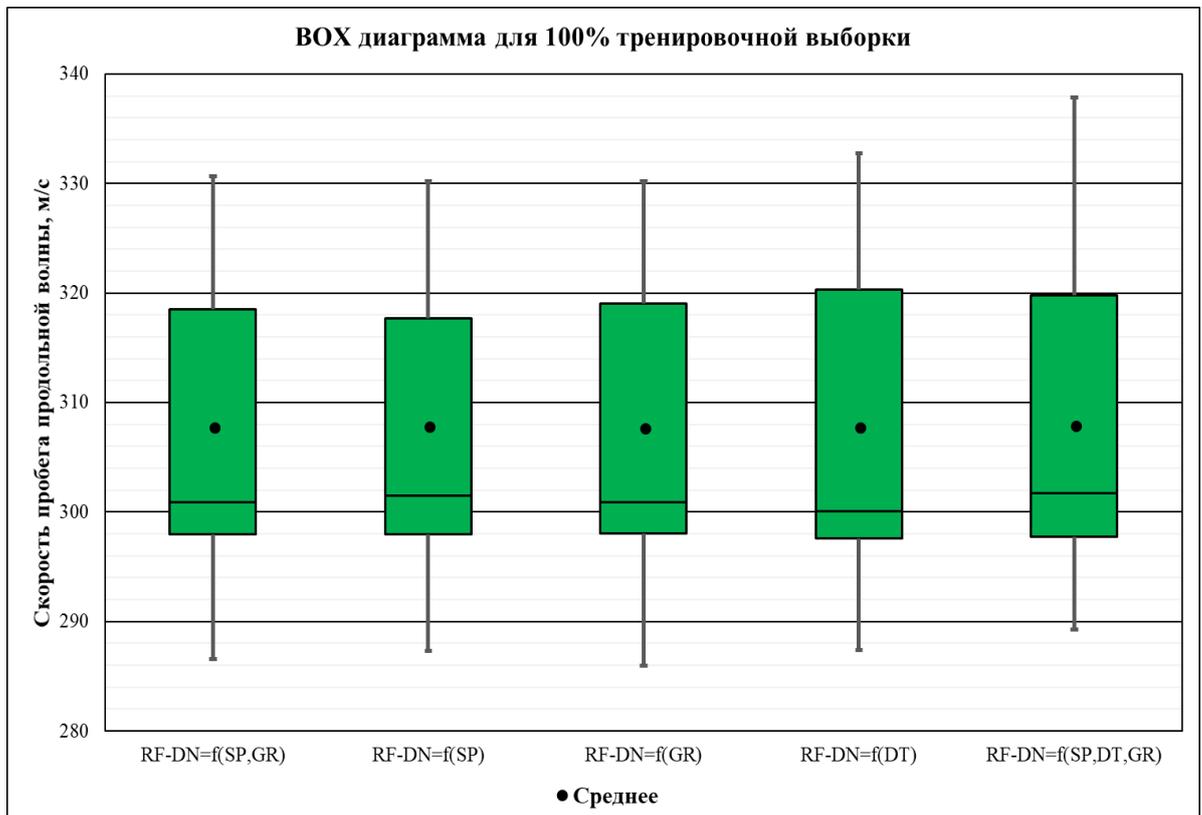


Рисунок Ж 7-Box plot- восстановление акустического каротажа

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ Ж- Анализ устойчивости акустического каротажа при 20 % объеме тестовой выборки (Шестаковский яр)

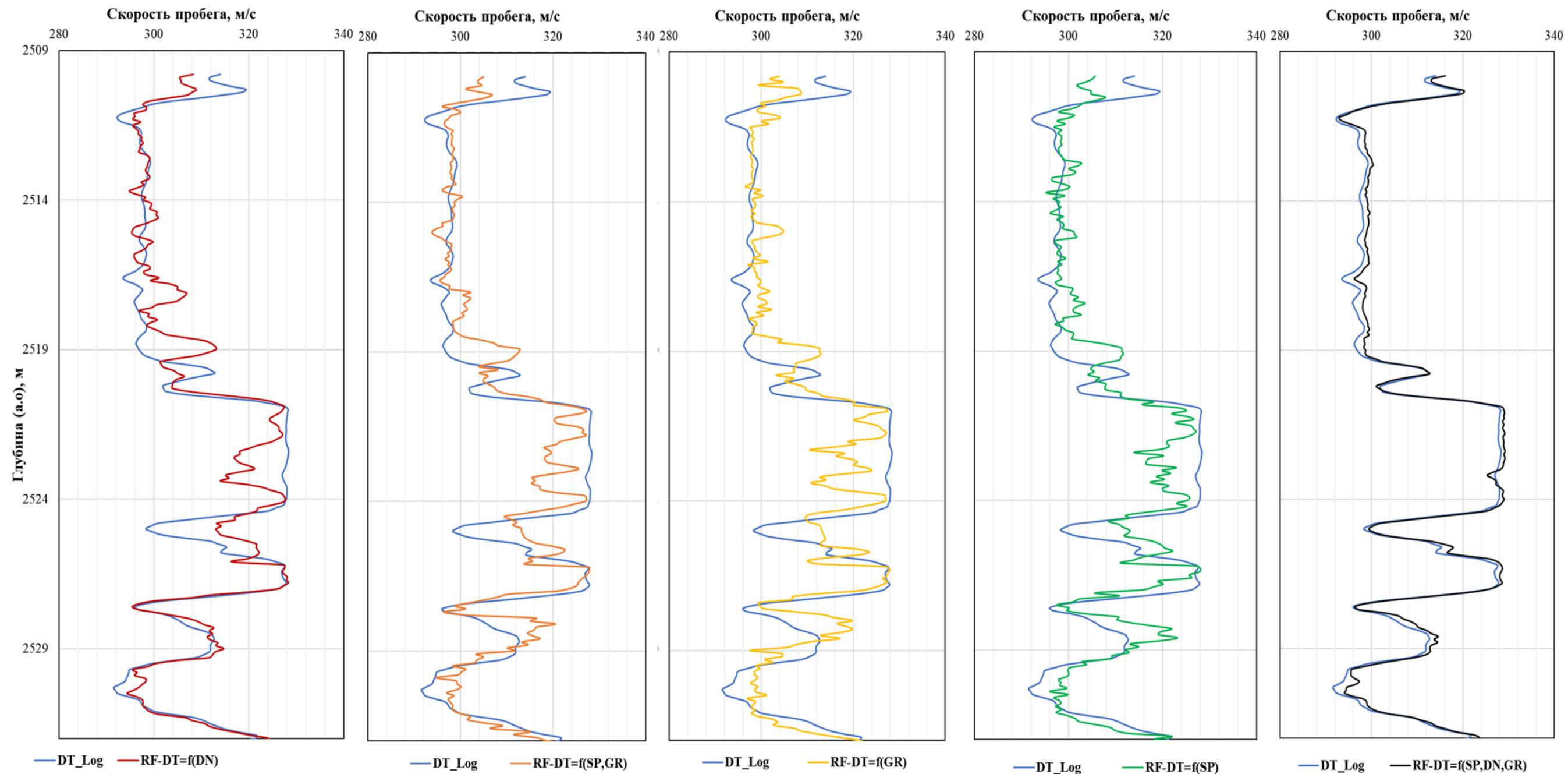


Рисунок Ж 9 -Анализ устойчивости синтеза акустического каротажа

## Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ Ж- ВОХ график (акустика)

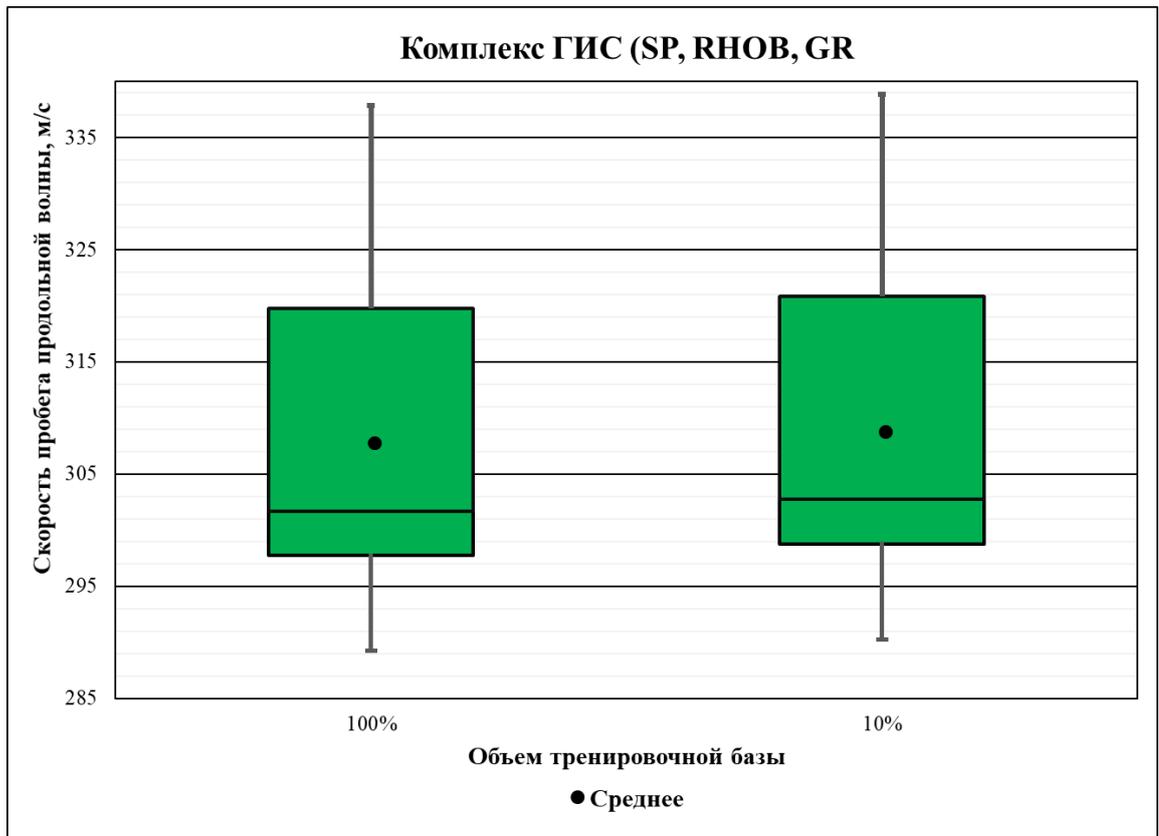


Рисунок Ж 11- восстановление акустического каротажа

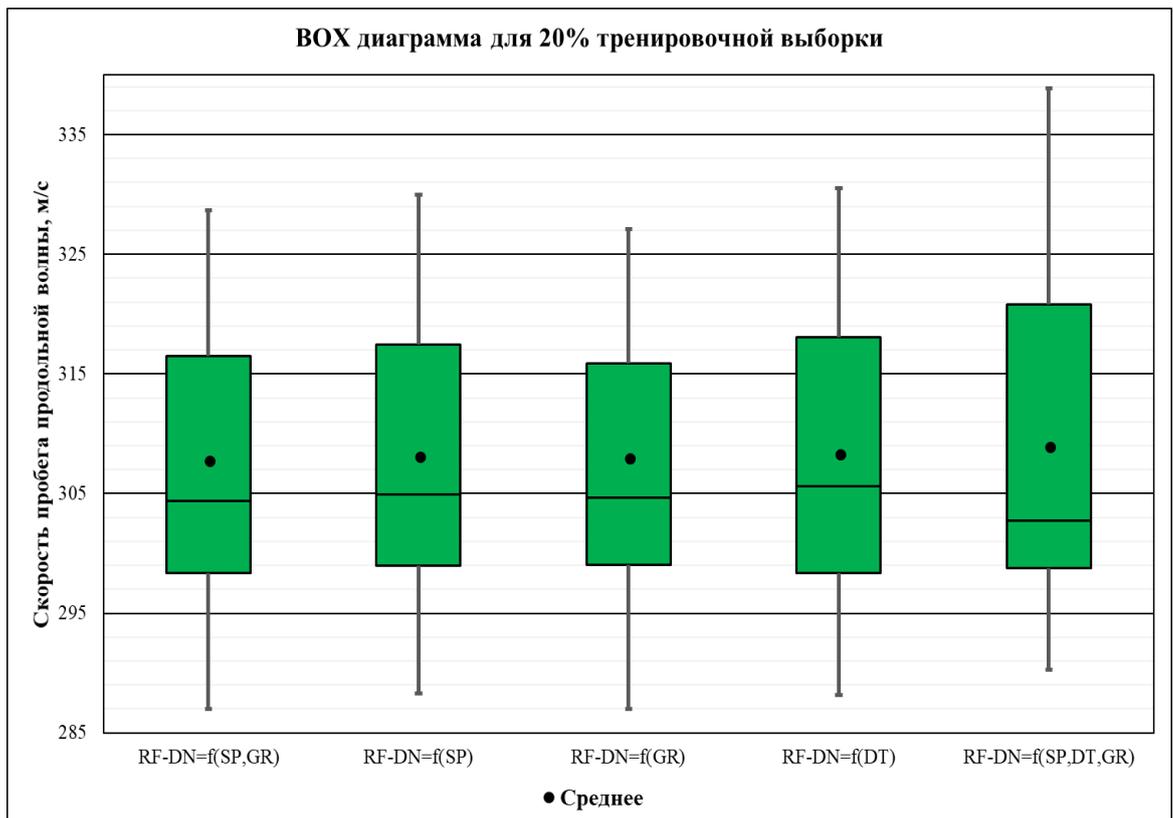


Рисунок Ж 10- восстановление акустического каротажа

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3- Тренировочная база данных, Крапивинское месторождение

| Скважина | Метод   |    |    |       |       |       |       |       |      |      |      |    |    |     |     |     |     |     |    |    |     |     |
|----------|---------|----|----|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|------|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|-----|-----|
|          | DENSITY | DS | GK | IKVG1 | IKVG2 | IKVG3 | IKVG4 | IKVG5 | NKTD | NKTM | NKTR | SP | DT | GZ1 | GZ2 | GZ3 | GZ4 | GZ5 | BK | IK | MGZ | MPZ |
| 279      | 0       | 1  | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    | 1    | 1    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   |
| 299      | 1       | 0  | 0  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 0    | 0    | 0    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   |
| 336      | 1       | 0  | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    | 1    | 1    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   |
| 342      | 1       | 0  | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    | 1    | 1    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 0   | 0   |
| 472      | 0       | 1  | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    | 0    | 1    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 0   | 1   |
| 508      | 1       | 1  | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    | 1    | 1    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   |
| 197R     | 0       | 1  | 1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1    | 0    | 0    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   |
| 200R     | 0       | 1  | 1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   |
| 209R     | 0       | 0  | 1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1    | 0    | 0    | 0  | 1  | 1   | 1   | 0   | 1   | 1   | 0  | 1  | 1   | 1   |
| 210R     | 0       | 1  | 1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   |
| 215R     | 0       | 1  | 1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 0  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   |
| 218R     | 0       | 1  | 1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0    | 0    | 0    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   |
| 220R     | 0       | 1  | 1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1    | 0    | 0    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   |
| 221R     | 0       | 0  | 0  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1    | 0    | 0    | 0  | 0  | 0   | 0   | 0   | 1   | 1   | 0  | 1  | 1   | 1   |
| 223R     | 0       | 1  | 1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1    | 0    | 0    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   |
| 225R     | 0       | 1  | 1  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 1    | 0    | 0    | 1  | 1  | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 1  | 1  | 1   | 1   |
| 385PL    | 1       | 1  | 1  | 1     | 1     | 1     | 1     | 1     | 1    | 1    | 1    | 1  | 0  | 0   | 0   | 0   | 0   | 0   | 0  | 0  | 0   | 0   |

Рисунок 3 1-Список скважин и методов слагающих тренировочную базу данных, Крапивинское месторождение

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ 3

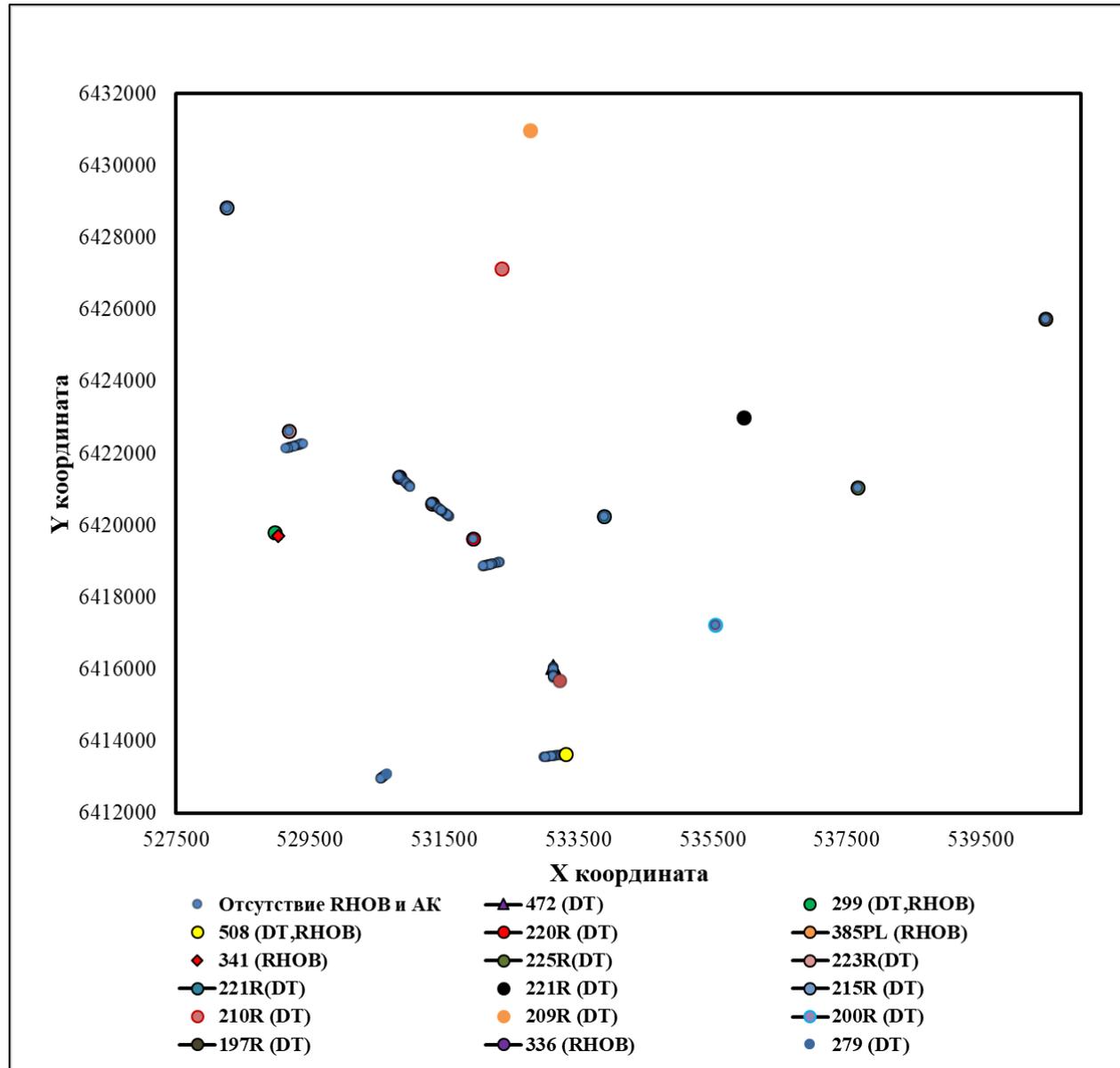


Рисунок 3 2-Расположение устья скважин формирующих тренировочную базу данных

**ПРИЛОЖЕНИЕ II- Синтезирование недостающих методов ГИС, Крапивинское месторождение**

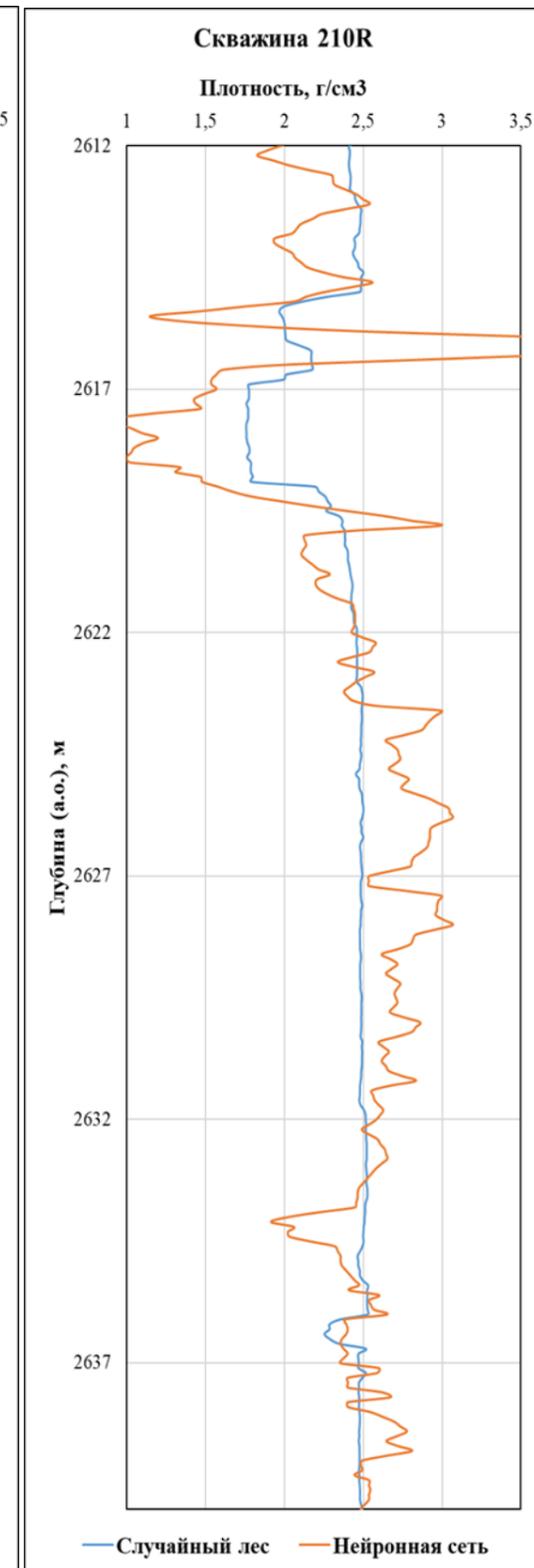
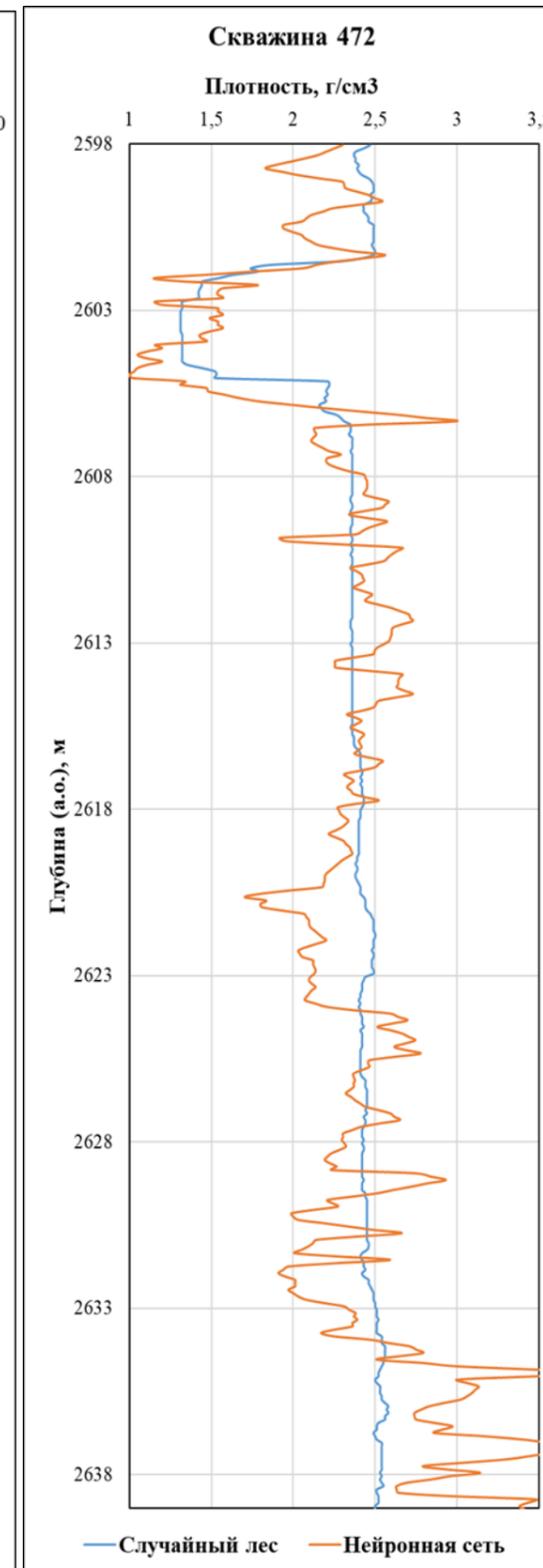
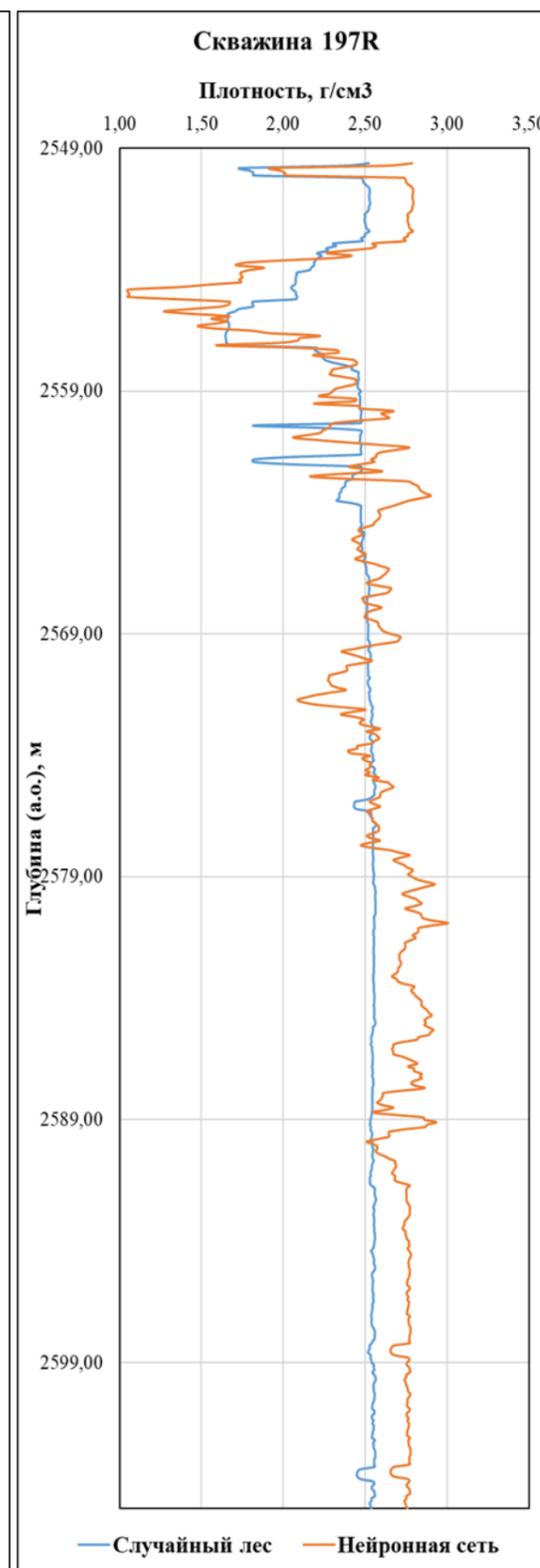
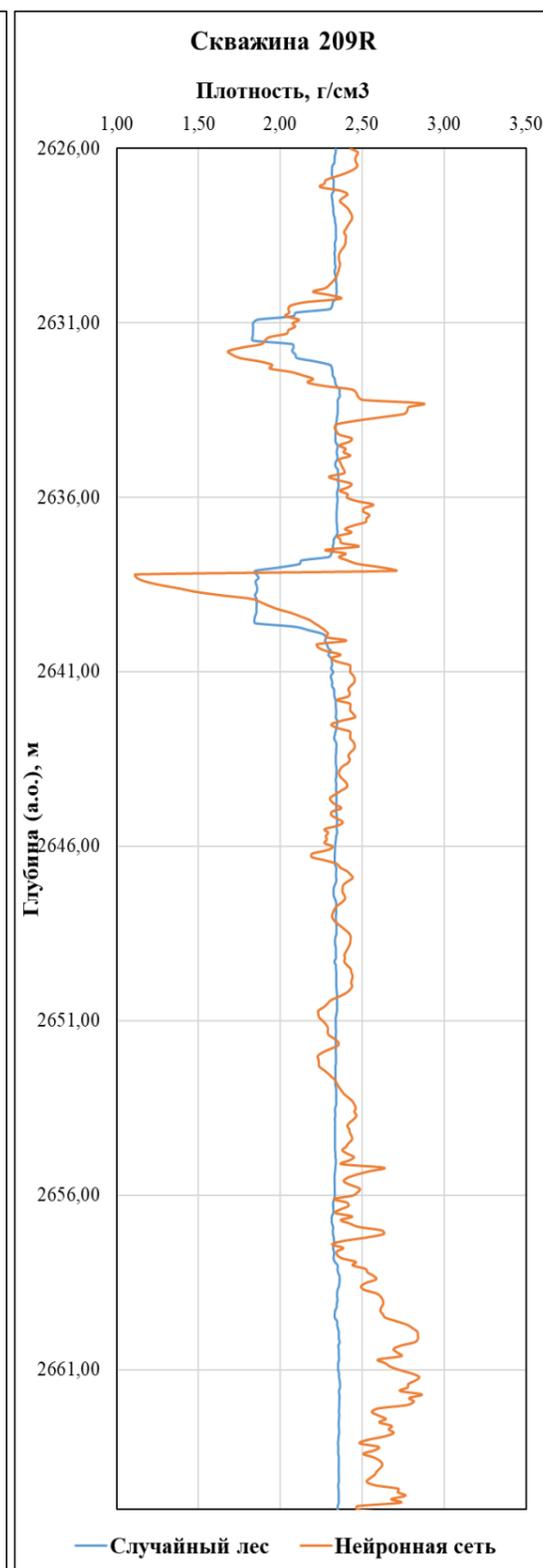
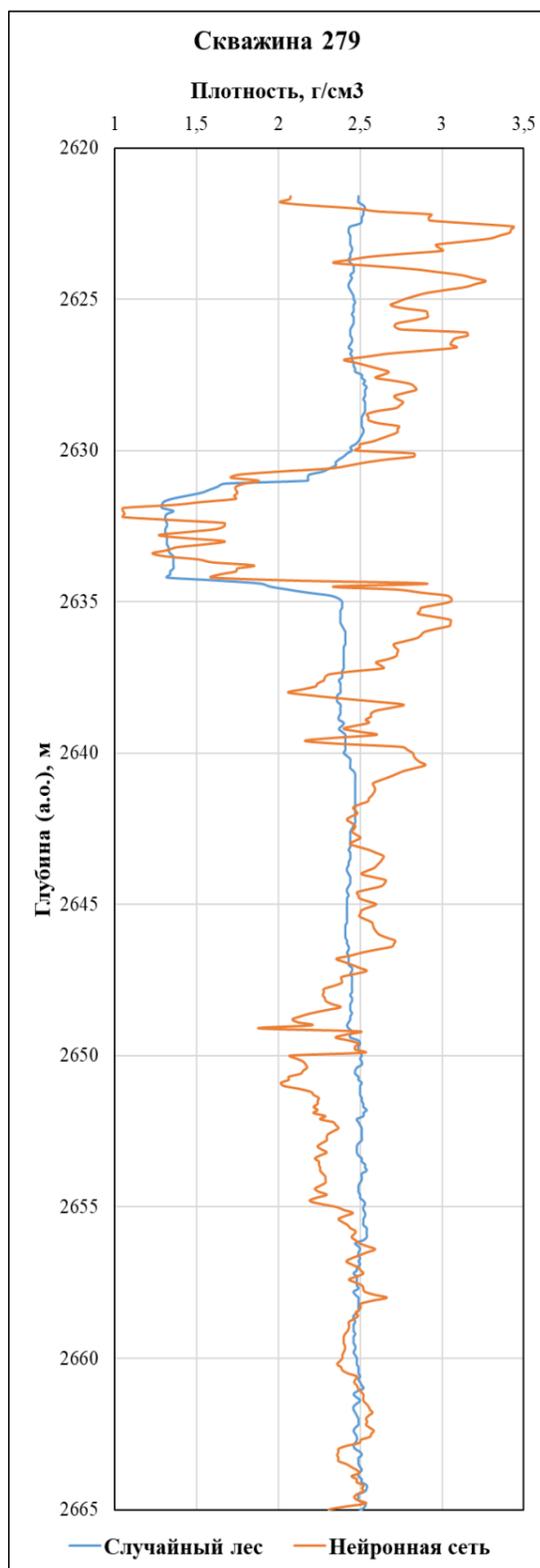


Рисунок И 3- синтетическая кривая плотностного метода, скважина 279

Рисунок И 4 -синтетическая кривая плотностного метода, скважина 209R

Рисунок И 5- синтетическая кривая плотностного метода, скважина 197R

Рисунок И 1- синтетическая кривая плотностного метода, скважина 472

Рисунок И 2- синтетическая кривая плотностного метода, скважина 210R

Продолжение ПРИЛОЖЕНИ И

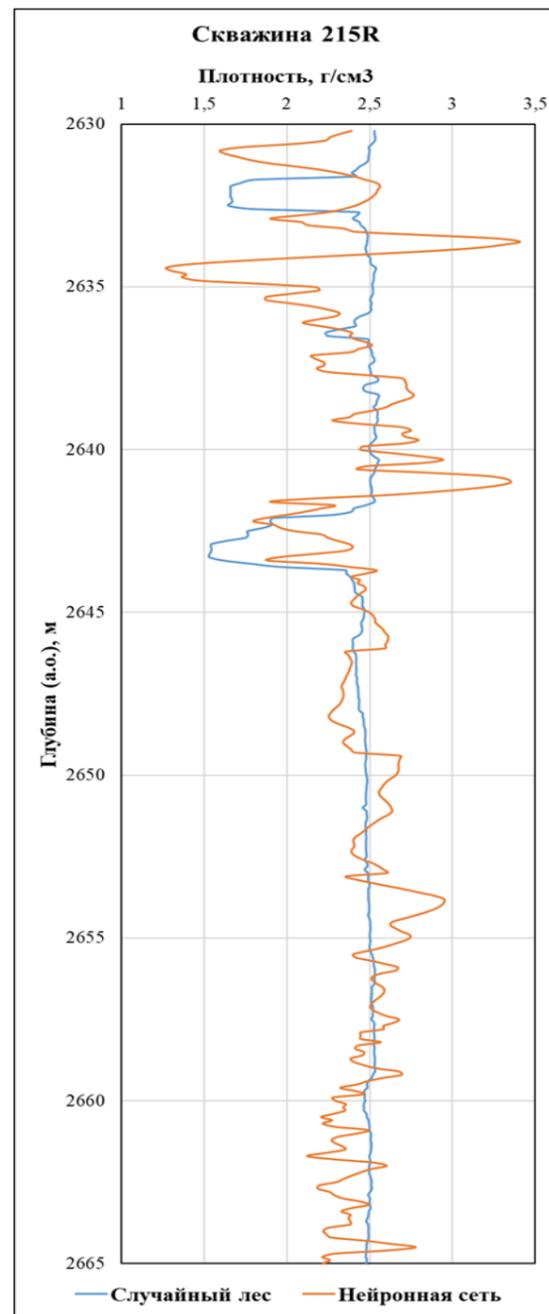


Рисунок И 9- синтетическая кривая плотностного метода, скважина 215R

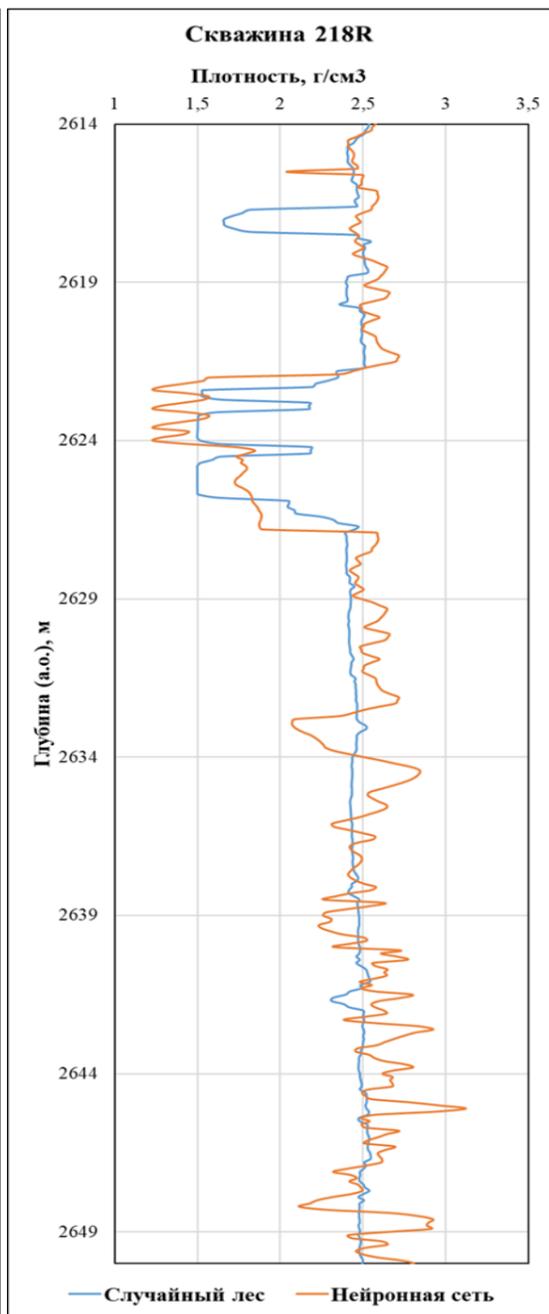


Рисунок И 8- синтетическая кривая плотностного метода, скважина 218R

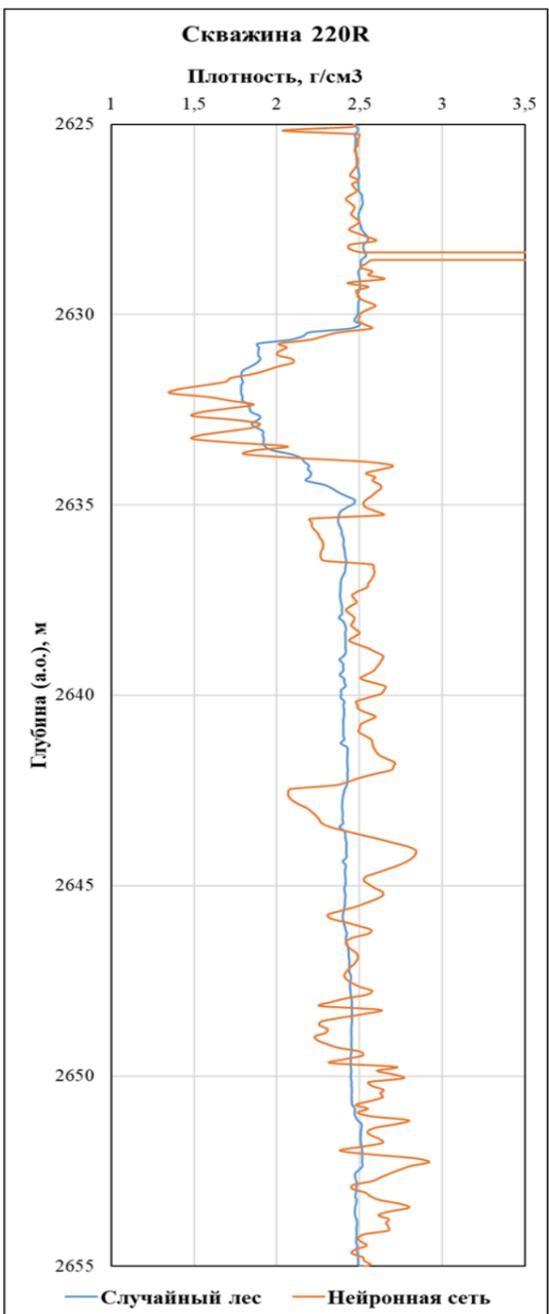


Рисунок И 7- синтетическая кривая плотностного метода, скважина 220R

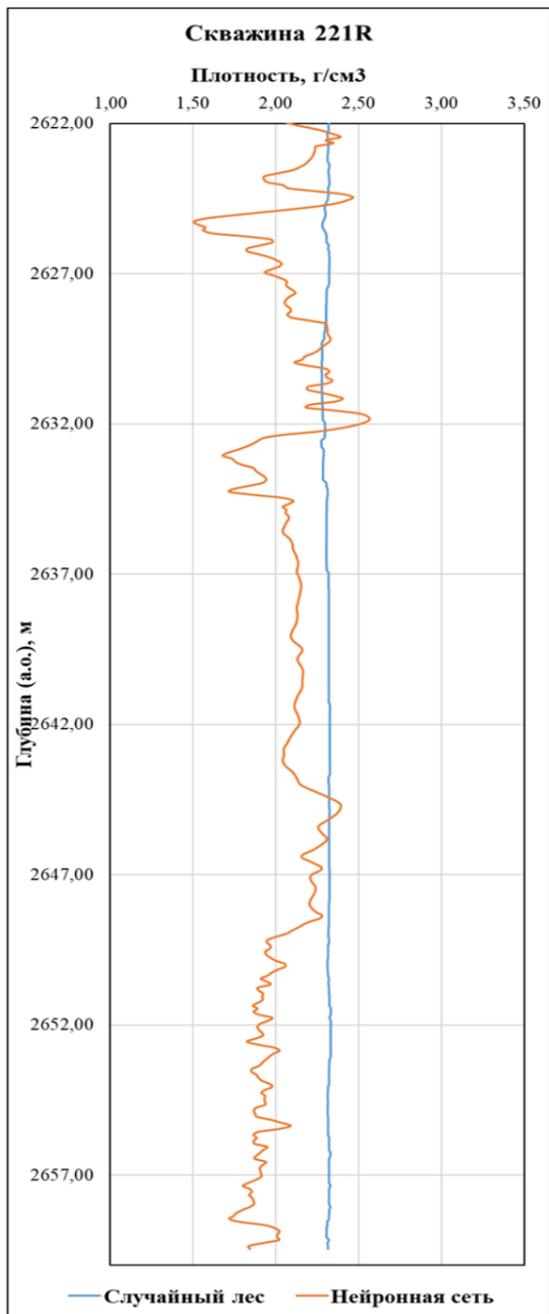


Рисунок И 6- синтетическая кривая плотностного метода, скважина 221R

Продолжение ПРИЛОЖЕНИЕ И

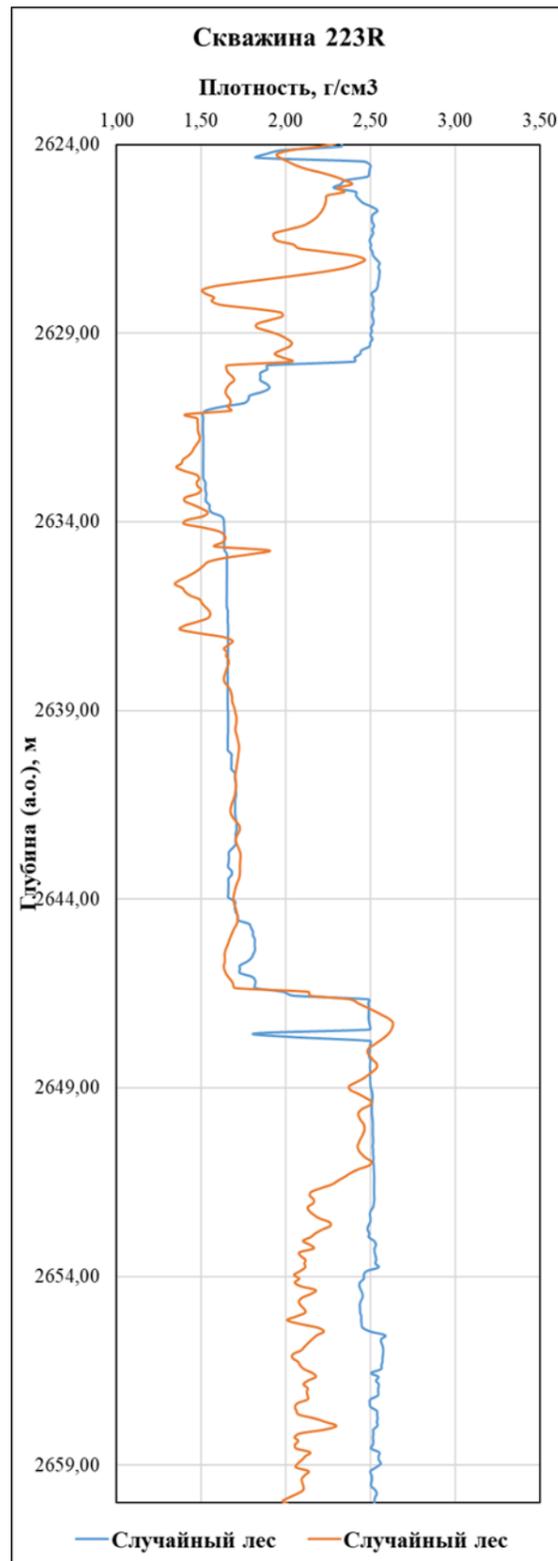


Рисунок И 13- синтетическая кривая плотностного метода, скважина 223R

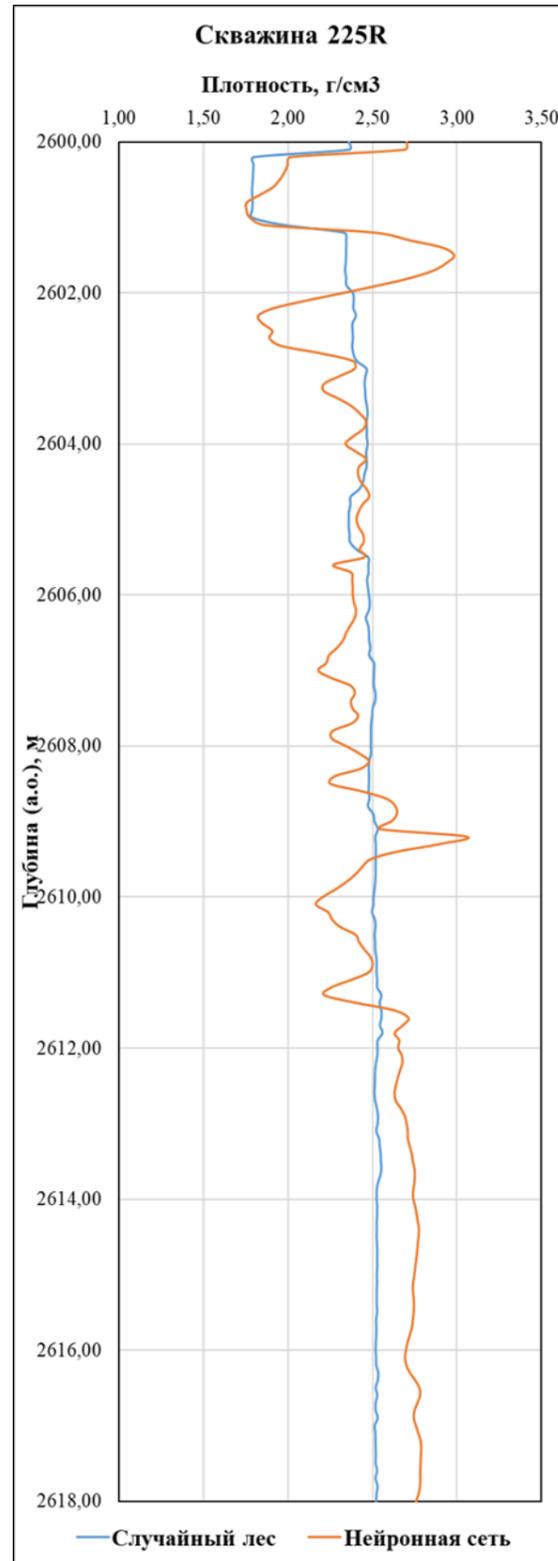


Рисунок И 12- синтетическая кривая плотностного метода, скважина 223R

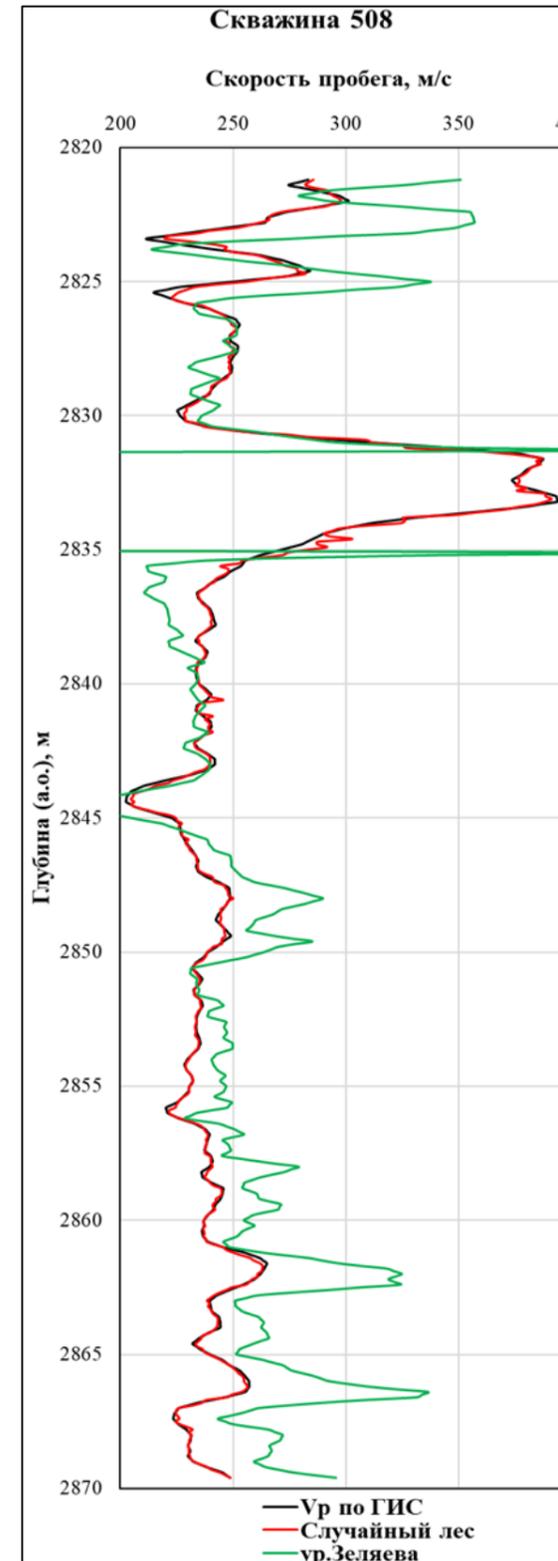


Рисунок И 11- Восстановление кривой акустического каротажа при помощи методики Зеляева

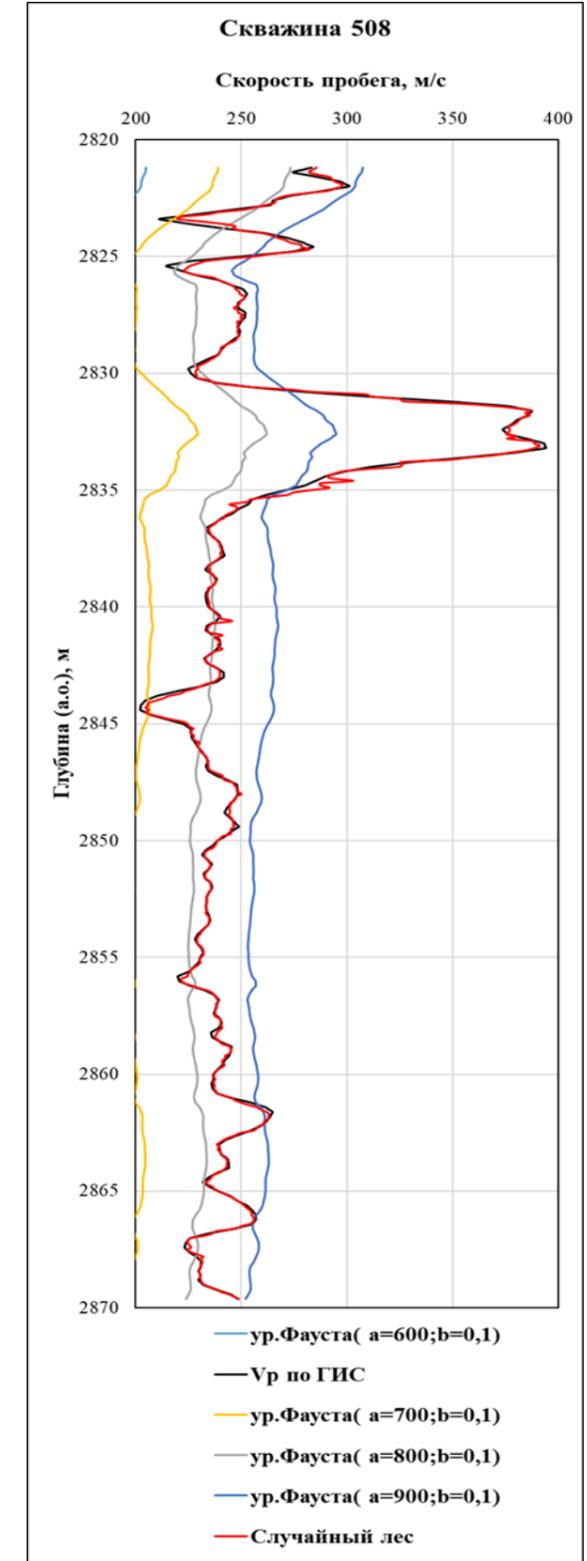


Рисунок И 10- Восстановление кривой акустического каротажа при помощи ур.Фауста

ПРИЛОЖЕНИЕ К- Каротажные данные продуктивного пласта Ю<sub>1-2</sub> И Ю<sub>1-3</sub> скважины 472.

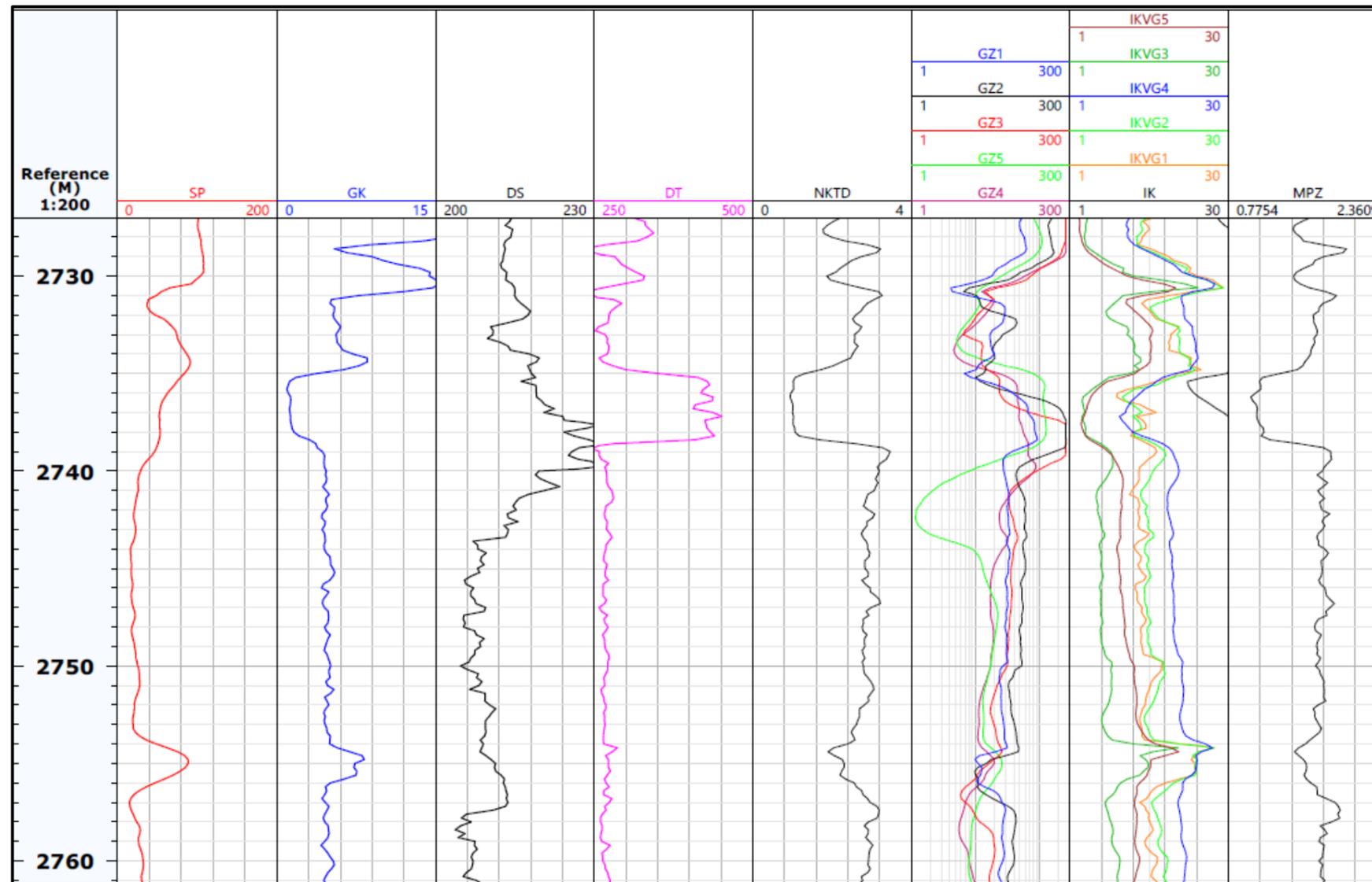


Рисунок К 1-Каротажи-Пласт Ю12 и Ю13, скважина 472

## ПРИЛОЖЕНИЕ Л- Расчет трудоемкости

Таблица Л 1- Расчет трудоемкости

| № | Тип исследований     | Объем работ |          | Трудоемкость                       |                         |              |                                    |                |                         |
|---|----------------------|-------------|----------|------------------------------------|-------------------------|--------------|------------------------------------|----------------|-------------------------|
|   |                      |             |          | Рабочий                            |                         |              | ИТР                                |                |                         |
|   |                      | ОКЕИ        | Значение | Временные норм. ГОСТ«ПОСН-81-2-49» | Итого времени, чел. час | чел. час     | Временные норм. ГОСТ«ПОСН-81-2-49» | ОКЕИ           | Итого времени, чел. час |
| 1 | 2                    | 3           | 4        | 5                                  | 6                       | 7            | 8                                  | 9              | 10                      |
| 1 | Плотность            |             | 2396,04  | 3                                  | чел/ час 100м           | 71,88        | 2                                  | чел/ час 100м  | 47,92                   |
| 2 | Акустика             | м           | 2396,04  | 0,65                               | чел/ час 100м           | 15,57        | 0,43                               | чел/ час 100м  | 10,3                    |
| 3 | Перевозка            | км          | 150      | 0,114                              | чел.час/ км             | 4,56         | 0,076                              | чел.час/ км    | 30,4                    |
| 4 | Технический контроль | пр.час      | 12       | 3,6                                | чел.час/пр.час          | 4,32         | 2,4                                | чел.час/пр.час | 28,42                   |
|   |                      |             |          |                                    |                         | <b>Итого</b> | <b>135,21</b>                      | <b>Итого</b>   | <b>117,42</b>           |

## ПРИЛОЖЕНИЕ М

Раздел (Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение)  
(Financial management, resource efficiency and resource economy)

---

Студент:

| Группа | ФИО                             | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------------|---------|------|
| 2ТМ61  | Иванцов Александр Александрович |         |      |

Консультант школы отделения (НОЦ) \_\_\_\_\_ (аббревиатура школы, отделения (НОЦ)) \_\_\_\_\_:

| Должность | ФИО | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|---------------------------|---------|------|
|           |     |                           |         |      |

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы \_\_\_\_\_ (аббревиатура отделения (НОЦ) школы):

| Должность | ФИО | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|---------------------------|---------|------|
|           |     |                           |         |      |

## 9. FINANCIAL MANAGEMENT, RESOURCE EFFICIENCY AND RESOURCE ECONOMY

Logging surveys are a high expensive type of the investigation and as a result it effects on the final capital expenditure. This chapter addressed to economic and time justification of using machine-learning algorithms when density and sonic logging absent. The economic profile of a project is limited edition, which used to compare time and cost of two adjacent approaches.

Object of consideration is well 472 of Krapivinskoe oilfield. Well 472 penetrates IO<sub>1-2</sub> and IO<sub>1-3</sub> production intervals. Measured depth of the well 472 is 2829,5 or 2696,04 m of True Vertical Depth (TVD), top of IO<sub>1-2</sub> is 2598,04 m of TVD and bottom of IO<sub>1-3</sub> is 2696,04 m of TVD.

### 9.1. Tables of quantity and performed operations

Table 4 consists main types of performed operations.

Table 4 -main types of performed operations

| № | Operation                 | Conditions |
|---|---------------------------|------------|
| 1 | Density and sonic logging | 2          |
| 2 | Interpretation            | 1          |

Type and quantity of work of the project are characterized by well logging complex, project depth of the bottom hole, range between base and target point of investigation.

Table 5 well logging complex of the project

| №   | Type of investigation | Recording scale | Investigation |                   |         |
|---|-----------------------|-----------------|---------------|-------------------|---------|
|   |                       |                 | Depth, m(TVD) | Interval, m (TVD) |         |
|   |                       |                 |               | top               | Bottom  |
| 1   | 2                     | 3               | 4             | 5                 | 6       |
| Well logging in the open hole (intermediate string), 300-2400 meters.   |                       |                 |               |                   |         |
| 1   | Density logging       | 1:200           | 2400          | 300               | 2400    |
| 2   | Sonic logging         | 1:200           | 2400          | 300               | 2400    |
| Well logging in the open hole (production string), 2400-2696.04 meters. |                       |                 |               |                   |         |
| 1   | Density logging       | 1:200           | 2696.04       | 2400              | 2696.04 |
| 2   | Sonic logging         | 1:200           | 2696.04       | 2400              | 2696.04 |

Helicopter is used to transport well logging specialists and installations to the target point. Interpretation cost is 50 % from field investigation price.

## 9.2. Calculation of time, labor and material expenditures

Computation of labor, time and material expenditures are carried out to each project performed operations. These calculations are tabulated in the Таблица 1Л. Team runs the standard complex of well surveys or each particular type of well logging investigation. Table 6 illustrates main time expenditures.

Table 6 – time expenditure calculations

| № | Type of investigation | Quantity of work |       | Time standard.<br>NSS «ПЮЧН-81-2-49» | Unit        | Total time, man-hour |
|---|-----------------------|------------------|-------|--------------------------------------|-------------|----------------------|
|   |                       | Units            | Value |                                      |             |                      |
| 1 | 2                     | 3                | 4     | 5                                    | 6           | 7                    |
| 1 | Density logging       | m                | 2396  | 50                                   | Min/100m    | 1198,02              |
| 2 | Sonic logging         | m                | 2396  | 10.8                                 |             | 258,77               |
| 3 | Transportation        | km               | 150   | 0,114                                | man.hour/km | 285                  |

| 1 | 2                 | 3         | 4  | 5   | 6                   | 7        |
|---|-------------------|-----------|----|-----|---------------------|----------|
| 4 | Technical control | Team-hour | 12 | 3,6 | man.hour /team.hour | 720      |
|   |                   |           |    |     | Total               | 2461.792 |

Well logging surveys are going to be carried out by duty tour method thus standards from the table 1-073 of “ПЮСН 81-2-49” can be applied, [13].

Table 7 -Well logging standards

| №                      | Type of expenditure type | Unit      | Complex team |
|------------------------|--------------------------|-----------|--------------|
| 1                      | 2                        | 3         | 4            |
|                        | New standards            | min       | 480          |
|                        | Tariff standards         |           | 365          |
| Operation expenditures |                          |           |              |
| 1                      | Working man              | man-hour  | 57,6         |
| 2                      | Technologist             | man-hour  | 38,4         |
| Base wage              |                          |           |              |
| 3                      | Man of team              | rubles    | 501,01       |
| 4                      | Working man              | rubles    | 281,21       |
| 5                      | Technologist             | rubles    | 219,8        |
| Material               |                          |           |              |
| 6                      | Main and others          | %         | 19,3         |
| 7                      | Tool wear                | %         | 17,2         |
| 8                      | Lead wear                | M         | 18           |
| 9                      | Tire wear                | Set/km    |              |
| 10                     | Fuel consumption         | liters    | 57,56        |
| Facility depreciation  |                          |           |              |
| 11                     | Laboratory               | Inst-hour | 10,4         |
| 12                     | Elevator                 | Inst-hour | 10,4         |
| 1                      | 2                        | 3         | 4            |

|    |                     |           |      |
|----|---------------------|-----------|------|
| 13 | Marking station     | Team-hour | 8,8  |
| 14 | Well devices        | Inst-hour | 10,4 |
| 15 | Logging magazine    | Inst-hour | 8,8  |
| 16 | Drillstem test tool | Team-hour | 8    |
| 17 | Shop costs          | %         | 15   |

Project time of well drilling is 30 days. Time and labor expenditure of logging team per one well for working man is 1728, man-hour and technologist is 1152, man-hour.

Well maintenance equipment of well logging team are tabulated in the table 8.

Table 8- Well maintenance equipment

| Facility                              | Unit | Value |
|---------------------------------------|------|-------|
| well-logging truck hoist<br>ПКС-3,5 М | pce  | 1     |
| Logging station<br>«Кедр-02/1.5В»     | pce  | 1     |
| Laptop                                | pce  | 1     |
| Satphone                              | pce  | 1     |
| Magneto-optical disk                  | pce  | 1     |
| Gauges                                |      |       |
| «К1А-723М»                            | pcs  | 2     |
| ИОН-1(ИОН-1 + ГК)»                    | pcs  | 2     |
| «ВАК-8»                               | pcs  | 2     |
| «БКС»                                 | pcs  | 2     |
| «Кедр-80СКПД»                         | pcs  | 2     |
| «ЦМ-8-12-Ц»                           | pce  | 1     |
| «СГП2-Агат»                           | pce  | 1     |
| «СГДТ»                                | pce  | 1     |

### 9.2.2. Departmental unit structure

The main departmental unit structure is team which is led by team leader. Typical team includes approximately 5 working man:

- Technologist
  - team leader;
  - log analyst;
  - assistant geophysicist.
- Working man
  - core logger;
  - winding engine driver.

### 9.3. Budget

Project cannot be realized without funds as a result consumer has to defray the costs. Advance financing of the well logging surveys differs from others performed operations because budget is calculated by future work performer. Optimal budget expenditures are evaluated by different national standards, quick reference guide etc. Future project economy depends on amount of included expenditures.

Table 9 - Budget calculations

| № | Type of investigation | Value of performed operations |         | Well logging cost | Unit     | Incremental coefficient |                                   | Total, rub |
|---|-----------------------|-------------------------------|---------|-------------------|----------|-------------------------|-----------------------------------|------------|
|   |                       | Unit                          | Value   |                   |          | K <sub>incr</sub>       | K <sub>stad</sub> <sup>cond</sup> |            |
|   |                       |                               |         |                   |          |                         |                                   |            |
| 1 | Density logging       | m                             | 2396.04 | 321               | rub/100m | 3.38                    | 1.2                               | 7594       |
| 2 | Sonic logging         | m                             | 2396.04 | 78.14             | rub/100m | 3.38                    | 1.2                               | 31196      |

|   |                   |           |     |       |            |      |                    |       |
|---|-------------------|-----------|-----|-------|------------|------|--------------------|-------|
| 1 | 2                 | 3         | 4   | 5     | 6          | 7    | 8                  | 9     |
| 3 | Transportation    | km        | 150 | 21.9  | Rub/km     | 1.51 | 1.15               | 13324 |
| 4 | Technical control | Team/hour | 12  | 278.7 | Rub/team.h | 2.28 | 1.15               | 13565 |
|   |                   |           |     |       |            |      | <b>Total-65679</b> |       |

Full cost of well surveys which are carried out by well logging team on the one well is 65679 rubles.

Ulal-4320 station is used during transportation and fuel consumption is 17268 rubles. Interpretation and control are subject to a charge full cost of well logging operations. Cameral work cost is 65679 rubles.

Table 10 - Total budget report

| № | Operation name              | Cost, ruble |
|---|-----------------------------|-------------|
| 1 | Total works in the well     | 65679       |
| 2 | Cameral work                | 32840       |
| 3 | Transportation              | 17268       |
| 4 | Total amount                | 115787      |
| 5 | Budgeted accumulation (20%) | 23157.28    |
| 6 | Contingency fund(3%)        | 3474        |
| 7 | Totally                     | 142417.3    |
| 8 | VAT (18%)                   | 23653,11    |
| 9 | Inclusive of VAT            | 168052.4    |

## ПРИЛОЖЕНИЕ Н

Раздел (Социальная ответственность)  
(Social responsiveness)

---

Студент:

| Группа | ФИО                             | Подпись | Дата |
|--------|---------------------------------|---------|------|
| 2ТМ61  | Иванцов Александр Александрович |         |      |

Консультант школы отделения (НОЦ) \_\_\_\_\_ (аббревиатура школы, отделения (НОЦ)) \_\_\_\_\_ :

| Должность | ФИО | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|---------------------------|---------|------|
|           |     |                           |         |      |

Консультант – лингвист отделения (НОЦ) школы \_\_\_\_\_ (аббревиатура отделения (НОЦ) школы):

| Должность | ФИО | Ученая степень,<br>звание | Подпись | Дата |
|-----------|-----|---------------------------|---------|------|
|           |     |                           |         |      |

## 10. SOCIAL RESPONSIVENESS

Responsibility is team leader subjective duty of company which consists in bear liability for behavior, goings and future effects. Responsibility is divided on financial, criminal and legal responsibility.

Social responsiveness or corporate social responsiveness is company duty which includes carrying out duty of corporation to employees. It includes safety of working operations to employees, contractor, shareholders and clients (ICCSR 26000:2011 «Corporation social responsiveness»).

Krapivinskoe oilfield consists 165 wells in which density and sonic logging surveys were run on the 27 wells.

### 10.1. Occupational safety

Technologists are exposed to impact of different hazards during well logging operations. The hazards are divided on the 2 subgroups such as direct and indirect action. It relates to hazardous production factor and industrial health.

Hazardous production factor is influence on employees which leads to accidents.

Industrial health hazard is influence on the human body which leads to occupational health problems.

Main hazardous production and industrial health factors which can occur during well logging operations are tabulated in the table11.

Table 11- Main hazardous production and industrial health factors

|       |                       |                                 |                           |                    |
|-------|-----------------------|---------------------------------|---------------------------|--------------------|
| Stage | Type of investigation | Hazards (AUSS 12.0.003-74) [14] |                           | Reference document |
|       |                       | Production factors              | Industrial health factors |                    |

| 1             | 2   | 3   | 4  | 5   |
|---------------|---|---|--|---|
| Field stage   | Drilling;<br>Gas well logging;<br>Well logging surveys. | Electrical current;<br>Moving machinery;<br>Fire. | High noise level;<br>High level of ionizing emission | ГОСТ 12.4.125-83[15];<br>ГОСТ 12.1.003–83[16]                                     |
| Cameral stage | Data interpretation and analysis                        | Electrical current;<br>Fire.                      | Low light conditions                                 | СанПиН 2.2.4.548-96 [17];<br>СНиП 23-05-95 [18];<br>СанПиН 2.2.1/2.1.1.127803[19] |

## 10.2. Hazardous production factor analyses

Hazardous production factor is influence which can lead to injures, toxicities or fatality.

### 10.1.1. Field stage

#### *Electrical current*

High voltage facilities are used during field stage which are powered from high-voltage network.

Engineers can suffer an electrical shock from direct or indirect contact with electrical details. Contact with electrical details and break in cable insulation are the main factors of electrical injures.

Health effect depends on electrical power, contact time, current frequency and health of human. Current effects on the human body by different ways such as thermal burn and anodal closing contraction.

High-voltage installations have to be constructed by taking into account current safety norms.

Methods of high voltage installation protection:

1. high level of employee's quality;
2. break in cable insulation control;
3. using safety cut-off thumbs.

### *Moving machinery*

Field engineers can suffer an injures during field operations by careless using moving machinery. Well logging facilities have to be corresponded to AUSS 12.4.125-83.

Rotating velocity of rotating details characterizes dangerous conditions. Careless using rotating leads to damage, sprain etc.

Well logging surveys have to be carried out by specialists with high quality level in order to avoid random accidents during operation process. All faulty components should be repaired.

## **10.1.2. Cameral stage**

### *Electrical current*

Major sources of electrical injures on the work space are laptop and power supply units. As noted above, all components should be carefully controlled to avoid contacts with break in cable insulation. AUSS 12.1.019-79 is used in order to form safety environment on the work space.

Methods of high-voltage installations protection:

1. -high quality of the personal;
2. -using safety features;
3. -using adding safety cut-of thumbs.

## **10.2. Industrial health factors and control measures analysis**

### **10.2.1. Field stage**

### *Divergence of microclimate parameters.*

Weather is the air conditions evaluated group of factors such as temperature, pressure, air velocity etc.

Weather effect on the human body is the complex and difficult process which in some situations leads to negative health outcome such as headache and intracerebral hemorrhage. Additionally, it can reduce employee's workability. Well logging operations are carried out on the open air. The factors can reduce rate of investigations and lead to additional problems.

Weather protection is limited during working on the open air as a result there are standards that includes following moments:

1. there is upper and base level of limitation during carried out operations on the open air;
2. there are norms of relax and working time:
3. in the north regions, there are additional standards which regulate working time on the open air and methods to avoid hypothermia.

Well logging must not be carried out during storm, extra low and high temperature of environment.

### **10.3. Noise incremental level**

Industrial noise includes noise of rotating elements, vibration and seismic vibrations thus it leads to reduce workability. There are standards of production noise level, it is tabulated in the table 12.

Table 12-Standarts of production noise

| Work space      | Level if noise pressure, decibel |    |     |     |     |      |      |      |
|-----------------|----------------------------------|----|-----|-----|-----|------|------|------|
|                 | 31.5                             | 63 | 125 | 250 | 500 | 1000 | 2000 | 4000 |
| Area of company | 107                              | 95 | 87  | 82  | 78  | 75   | 73   | 71   |

There is one approach of noise protecting it is using different types of individual protection likes ear-muffles.

#### **10.4. Incremental level of ionizing emission**

Well logging operations includes different radioactive sources which used in investigations for instance using radioactive elements during gamma ray investigations. There are norms which control time, approach and others factors of using radioactive elements during well logging operation. In order to reduce irradiation dose, the following requirements should be taken into account:

1. use source of ionizing emission with the lowest activity which required to run investigation;
2. reduce time contact with radioactive elements;
3. control level of radioactivity;
4. use safety features etc.

##### **10.4.1. Cameral stage**

###### *Low light conditions*

Low light conditions can lead to reduce eyes functionality. Consequently, level of stress ability, workability is break down. The standards of SNIIP 23-05-95 and SanRaN 2.2.1/2.1.1.1278-03 are used to evaluate and maintain sufficient light conditions in the working room.

#### **10.5. Environment safety**

Complex of well logging operations has small influence on the environment. Next types of ecosystems are affected by well logging operation:

1. surface water;

2. soil layer;
3. Cenomanian water formations.

Geophysical operations should be carried out by taking into account all necessary measures to reduce adverse effects. SNiP 1.02.01-85 is applied to achieve these goals.

## **10.6. Security in emergency situations**

Emergency is negative situation which happened on the specific area due to accident, storm or other factors, during which there are injured or aggrieved persons.

Each employee has to know its role and responsibilities. The most likely emergency is a fire in the workplace, so fire safety will be discussed in more detail below. The concept of fire safety means the state of an object in which the possibility of a fire is excluded.

The causes of fires in the field are:

1. careless handling of fire;
2. malfunction or incorrect operation of electrical equipment;
3. malfunction and overheating of heating stationary and temporary furnaces;
4. discharges of static and atmospheric electricity, most often occurring in the absence of grounding and lightning conductors;
5. malfunction of production equipment and violation technological process.

These regulations presented in the AUSS 12.1.004-91.