

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

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

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Оценка эксплуатационных характеристик пласта на основе анализа пространственной неоднородности (на примере синтетической модели коллектора)

УДК 552.578.2.061.4-047.58

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ71	Баннов Анатолий Алексеевич		

Руководитель ВКР

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

### КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Ишков О.Ю.	Ph.D		

По разделу «Социальная ответственность»

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

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

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

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

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП

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

### ЗАДАНИЕ

#### на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

<b>Магистерской диссертации</b> (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
---

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ71	Баннову Анатолию Алексеевичу

Тема работы:

Оценка эксплуатационных характеристик пласта на основе анализа пространственной неоднородности (на примере синтетической модели коллектора)
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№7340/с от 19.07.2019
---	-----------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	16.08.2019
--	------------

### ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<b>Исходные данные к работе</b> <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i>	Программная реализация численного алгоритма вычисления топологических характеристик трёхмерных тел
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b> <i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i>	Анализ литературы Анализ имеющихся подходов по определению неоднородности коллекторов Сбор и подготовка исходных данных для синтетических моделей, их создание и расчет в гидродинамическом симуляторе Анализ полученных результатов. Нахождение

	<p>зависимости пространственных характеристик от эксплуатационных параметров.</p> <p>Анализ применимости методов машинного обучения для решения поставленных в работе задач</p> <p>Комплексный анализ полученных результатов</p> <p>Выполнение задания блока «Финансовый менеджмент. Ресурсоэффективность и ресурсосбережение»</p> <p>Выполнение задания для раздела «социальная ответственность».</p>
<p><b>Перечень графического материала</b>  <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Модель фаций меандрирующей реки.</li> <li>2. Концептуальная модель меандрирующей реки.</li> <li>3. Распределение пористости в прирусловых барах с характерным уменьшением пористости вверх по разрезу</li> <li>4. Фациальный куб дельтовой обстановки.</li> <li>5. Куб пористости дельтовой обстановки.</li> <li>6. Корреляционная панель зависимости входных параметров друг от друга.</li> <li>7. Предсказание результатов КИН</li> <li>8. Дельты. Визуализация первого числа Бетти</li> <li>9. Меандрирующие реки. Визуализация первого числа Бетти</li> <li>10. Различные схемы расположения скважин в гидродинамических моделях дельтовых систем</li> <li>11. Различные схемы расположения скважин в гидродинамических моделях меандрирующих рек</li> <li>12. Зависимость чисел Бетти <math>b_1</math> и <math>b_2</math> для геологических моделей меандрирующих рек и дельтовых систем.</li> <li>13. Зависимость чисел Бетти <math>b_2</math> и <math>b_0</math> для геологических моделей меандрирующих рек и дельтовых систем.</li> <li>14. Зависимость числа Бетти <math>b_0</math> и Эйлеровой ха-</li> </ol>

	<p>рактические для геологических моделей меандрирующих рек и дельтовых систем.</p> <p>15. Поведение КИН в зависимости от закаченного водой порового объема.</p> <p>16. Код для предсказания эксплуатационных характеристик пласта.</p>
--	--

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

*(с указанием разделов)*

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	д.г.-м.н., профессор Белозеров В.Б.
Социальная ответственность	Ph.D, профессор Ишков О.Ю.
Специальная часть	д.г.-м.н., доцент ОНД, ИШПР Чернова О.С.

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

1. Обзор литературы – 1. Literature review

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	02.07.2019
---	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Чернова О.С	д.г.-м.н.		02.07.2019

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ71	Баннов Анатолий Алексеевич		02.07.2019

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ71	Баннову Анатолию Алексеевичу

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	ОНД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	21.04.01 Нефтегазовое дело/Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

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

<p><i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <p><i>вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</i></p> <p><i>опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)</i></p> <p><i>негативного воздействия на окружающую природную среду (атмосферу, гидросферу, литосферу)</i></p> <p><i>чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</i></p>	<p>Рабочая зона представляет собой помещение с расположенными в нем компьютерами.</p> <p>Само рабочее место оборудовано стулом, столом и расположенном на нем ПК.</p>
<p><i>Перечень законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>ГОСТ Р ИСО 26000-2012</p>

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

<p><i>Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности: физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</i></p> <p><i>действие фактора на организм человека;</i></p> <p><i>приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</i></p> <p><i>предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</i></p>	<p>Вредные производственные факторы: недостаточное освещение; отклонение от нормы показателей микроклимата; ионизирующие излучения; умственная перенапряженность; монотонность работы.</p>
<p><i>Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности механические опасности (источники, средства защиты); термические опасности (источники, средства защиты); электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты); пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</i></p>	<p>Опасные производственные факторы: поражение электрическим током; статическое электричество; короткое замыкание</p>
<p><i>Охрана окружающей среды: защита селитебной зоны анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</i></p>	<p>Бумажные отходы и люминесцентные лампы являются продуктами отхода,</p>

<i>анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); анализ воздействия объекта на литосферу (отходы); разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</i>	которые должны быть утилизированы должным образом.
<i>Защита в чрезвычайных ситуациях: перечень возможных ЧС на объекте; выбор наиболее типичной ЧС; разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</i>	Наиболее вероятным ЧС на данном рабочем месте являются пожары. Разработаны мероприятия по предотвращению наиболее типичной ЧС
<i>Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны</i>	Разработаны следующие мероприятия при компоновке рабочей зоны: оснащение рабочего места; обучение рабочего персонала.
<b>Перечень графического материала:</b>	
<i>При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)</i>	Рисунок 1. Требования СанПиН для рабочего места

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	03.07.2019
---	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Белозеров В.Б.	д.г-м.н.		03.07.2019

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ71	Баннов Анатолий Алексеевич		03.07.2019

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСО-  
СБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ71	Баннов Анатолий Алексеевич

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	ОНД
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	21.04.01 Нефтегазовое дело/Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений

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

<i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость материальных ресурсов определялась по средней стоимости по г. Томску
<i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Премияльный коэффициент 15%; коэффициент доплат и надбавок 20%; коэффициент дополнительной заработной платы 15%; районный коэффициент 30%
<i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды 31,8 %

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

<i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Анализ преимуществ реализации проекта
<i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Анализ потенциальных потребителей, сегментирование рынка
<i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Определение видов и трудоемкости работ, разработка календарного плана-графика, формирование бюджета проекта, оценка рисков
<i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

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

«Портрет» потребителя результатов НТИ; 2) Сегментирование рынка; 3) Оценка конкурентоспособности технических решений; 4) Диаграмма FAST; 5) Матрица SWOT; 6) График проведения и бюджет НТИ; 7) Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ; 8) Потенциальные риски

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
профессор	Ишков О.Ю.	Ph.D		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ71	Баннов Анатолий Алексеевич		

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

Школа ИШПР  
 Направление подготовки (специальность) Нефтегазовое дело  
 Уровень образования Магистратура  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение нефтегазового дела  
 Период выполнения весенний семестр/2019 учебного года

Форма представления работы:

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

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
8.07.2019	Анализ существующих методик определения неоднородности коллекторов	5
15.07.2019	Создание синтетических моделей	25
20.07.2019	Гидродинамическое моделирование на созданных моделях	5
25.07.2019	Применение методов машинного обучения	25
31.07.2019	Анализ полученных результатов	25
5.08.2019	Финансовый менеджмент	5
10.08.2019	Социальная ответственность	5
12.08.2019	Приложение на английском языке	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД, ИШПР	Чернова О.С.	Д.Г.-М.Н.		

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОНД, ИШПР	Чернова О.С.	Д.Г.-М.Н.		



## Запланированные результаты обучения

Код	Результат обучения*	Требования ФГОС ВО, СУОС, критериев АИОР, и/или заинтересованных сторон
<b>Общие по направлению подготовки (специальности)</b>		
<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	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-3, УК-4; УК-5; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-7; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: <b>(40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам), (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)</b>
<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	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-4; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-22; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: <b>(40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам), (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)</b>
<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	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-4; УК-5; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-6; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-11; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-18; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: <b>(40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологи-</b>

	инженерных задач развития нефтегазовых технологий, модернизации и усовершенствования нефтегазового производства	ческими процессами), <b>(40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений)</b> , <b>(40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)</b> ; <b>(19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата)</b> , <b>(19.021 Специалист по промысловой геологии)</b>
<b>P4</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	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ПК-1; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-20), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: <b>(40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами)</b> , <b>(40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений)</b> , <b>(40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)</b> ; <b>(19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата)</b> , <b>(19.021 Специалист по промысловой геологии)</b>
<b>P5</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	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-3; УК-4; УК-5; УК-6; ОПК-2; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-5; ПК-1; ПК-2; ПК-8; ПК-16; ПК-18; ПК-21; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: <b>(40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами)</b> , <b>(40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений)</b> , <b>(40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам)</b> ; <b>(19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата)</b> , <b>(19.021 Специалист по промысловой геологии)</b>
<b>P6</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,	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-3; УК-4; УК-5; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ОПК-5; ОПК-6; ПК-6; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-15; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: <b>(40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами)</b> , <b>(40.116 Специалист по обеспечению</b>

	газа и газового конденсата, передавать знания через наставничество и консультирование	<i>промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)</i>
<b>Р7</b>	Внедрять, эксплуатировать и обслуживать 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	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-3; ОПК-1; ОПК-2; ПК-1; ПК-3; ПК-6; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-14; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-21; ПК-22), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: <b>(40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)</b>
<b>Профиль 1 – Геолого-геофизические проблемы освоения месторождений нефти и газа</b>		
<b>Р8</b>	Предлагает процедуры анализа и оценки геологических объектов по данным геолого-геофизической изученности и скважинных исследований в целях разработки программы исследований и технологических мероприятий для конкретного типа месторождений углеводородов	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-3; УК-5; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-12; ПК-15; ПК-17; ПК-19; ПК-20), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: <b>(40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)</b>
<b>Р9</b>	Предлагать процедуры оценки эффективности промысловых работ и оптимизации работы оборудования при добыче нефти, газа и газового конденсата, обеспечение энергоэффективности технологических процессов	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-3; УК-5; ОПК-1; ОПК-2; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-12; ПК-15; ПК-17; ПК-19; ПК-20; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: <b>(40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист</b>

		<i>по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)</i>
<b>P10</b>	Обеспечивать внедрение новых методов при построении геолого-геофизических моделей; материалов и нефтегазового оборудования в осложненных условиях эксплуатации нефтяных и газовых скважин	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-4; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-4; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-6; ПК-8; ПК-12; ПК-12; ПК-13; ПК-16; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)
<b>Профиль 2. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений</b>		
<b>P11</b>	Контролировать выполнение требований регламентов для обеспечения добычи нефти, газа и газового конденсата	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-4; ОПК-1; ОПК-4; ОПК-6; ПК-1; ПК-5; ПК-6; ПК-12; ПК-15; ПК-16; ПК-18; ПК-19; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требования профессиональных стандартов: (40.178 Специалист в области проектирования автоматизированных систем управления технологическими процессами), (40.116 Специалист по обеспечению промышленной безопасности при эксплуатации оборудования, работающего под избыточным давлением, и/или подъемных сооружений), (40.011 Специалист по научно-исследовательским и опытно-конструкторским разработкам); (19.007 Специалист по добыче нефти, газа и газового конденсата), (19.021 Специалист по промысловой геологии)
<b>P12</b>	Совершенствовать, разрабатывать мероприятия и/или подготавливать бизнес-предложения по технологическому процессу и технологическим мероприятиям при добыче нефти, газа и газового конденсата	Требования ФГОС ВО, СУОС ТПУ (УК-1; УК-2; УК-3; УК-6; ОПК-1; ОПК-2; ОПК-3; ОПК-4; ПК-1; ПК-2; ПК-3; ПК-4; ПК-5; ПК-6; ПК-7; ПК-8; ПК-9; ПК-10; ПК-11; ПК-12; ПК-13; ПК-14; ПК-15; ПК-16; ПК-17; ПК-18; ПК-19; ПК-20; ПК-21; ПК-22; ПК-23), CDIO Syllabus (2.4, 2.5, 4.1, 4.2...), Критерий 5 АИОР (п. 2.1, 2.10...), согласованный с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI, требова-

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

## **Список аббревиатур**

КЗ – короткое замыкание

КИН – коэффициент извлечения нефти

НР – научный руководитель

МВ – магистр выпускник

РФ – российская федерация

ФГСС - Фонд государственного социального страхования

ПФРФ - Пенсионный фонд РФ

ФФОМС - Федеральный фонд обязательного медицинского страхования

ГОСТ– государственный общесоюзный стандарт

СанПиН– санитарно-эпидемиологические правила и нормы

## Реферат

Выпускная квалификационная работа 95 страниц, 36 рисунков, 13 таблиц, 28 источников, 5 приложений.

**Ключевые слова:** Топологические характеристики, Числа Бетти, эксплуатационные характеристики, машинное обучение

**Объектом исследования** являются синтетически построенные пласты с их пространственной неоднородностью и полученные на них эксплуатационные характеристики

**Цель работы** – получение модели зависимости эксплуатационных характеристик пластов и топологических характеристик.

В процессе исследования проводились – изучение взаимосвязи топологических характеристик сред с их способностью фильтровать флюид, а также исследование применения методов машинного обучения для определения эксплуатационных характеристик с помощью анализа пространственных характеристик пластов.

В результате исследования получено программное обеспечение, позволяющее производить быстрый расчет эксплуатационных характеристик пластов на основании топологических чисел, тем самым снизить временные затраты, касающиеся гидродинамического моделирования, а также позволяющее учесть неоднородности, связанные с пространственной неоднородностью коллекторов.

**Область применения:** Расчет эксплуатационных характеристик пласта на стадии разработки и мониторинга месторождения

**Экономическая эффективность/значимость работы:** расчёт интегральной эффективности показал экономическую пользу работы, путём сокращения времени, затраченного на расчёт эксплуатационных характеристик.

## Содержание

ВВЕДЕНИЕ .....	17
Глава 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР .....	20
1. 1. Моделирование синтетических моделей .....	20
1. 2. Неоднородность системы .....	21
1. 3. Топология .....	22
1. 4. Машинное обучение .....	23
Глава 2. ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК .....	25
2. 1. Создание синтетических геологических моделей .....	25
2. 1. 1. Модель меандрирующей реки .....	25
2. 1. 2. Модель Дельты .....	28
2. 2. Оценка пространственной неоднородности .....	30
2. 2. 1. Топологические характеристики нефтяных коллекторов .....	31
2. 3. Гидродинамическое моделирование .....	34
2. 4. Анализ пространственной неоднородности .....	35
Глава 3. ОПРОБОВАНИЕ МОДЕЛИ НА РЕАЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ .....	40
3.1. Геология Крапивинского месторождения .....	40
3.1.1. Общие сведения о месторождении .....	40
3.1.2. Литология .....	41
3.1.3. Стратиграфия .....	41
3.1.4. Седиментология .....	43
3.1.5. Особенности тектоники .....	49
3. 2. Сопоставление промысловых данных и полученных результатов. ....	51
Глава 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ .....	55
4.1. Анализ преимуществ реализации проекта .....	55
4.2. Управление научно-техническим проектом .....	56
4.2.1 План проекта .....	56
4.2.2 Определение сложности выполнения задания .....	58
4.2.3 Затраты исследования .....	61
4.2.4 Учёт рисков проекта .....	65
4.3 Эффективность проделанной работы .....	66
Глава 5. СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ .....	70
5.1. Анализ вредных факторов .....	70
5.1.1. Шум на рабочем месте .....	71
5.1.2. Освещенность рабочей зоны .....	72
5.1.3. Микроклимат .....	73
5.1.4. Ионизирующие излучения .....	74
5.1.5. Психофизиологические факторы .....	74
5.2. График рабочей смены .....	76
5.3. Опасность поражения электрическим током .....	76
5.4. Экологическая безопасность .....	77
5.5. Пожарная безопасность .....	77
5.6. Чрезвычайные ситуации .....	78
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	79
ПРИЛОЖЕНИЕ 1 .....	80
ПРИЛОЖЕНИЕ 2 .....	81
ПРИЛОЖЕНИЕ 3 .....	82
ПРИЛОЖЕНИЕ 4 .....	84
ПРИЛОЖЕНИЕ 5 .....	87
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....	91



## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Капитальные вложения для разработки нефтяных и газовых коллекторов могут достигать огромных сумм и превышать миллиарды долларов. Таким образом, оценка экономической эффективности, включающая в себя геологические неопределенности неоднородностей обстановок осадконакопления, является одной из главных задач при планировании разработки потому, что учет неопределенностей имеет ключевую роль в оценке рисков, связанной с оптимальной стратегией разработки.

Выбор оптимальной сетки расположения скважин, на основе которого оценивается соответствующий прогнозный уровень добычи нефти и закачки рабочего агента, должен проводиться при наличии количественной оценки неоднородности геологического строения месторождения. Такой оценкой могут послужить топологические характеристики трёхмерных тел.

Достоверность геологической модели определяется сравнением расчётов гидродинамической модели с реальными эксплуатационными данными. Техноэкономические характеристики пласта могут быть получены после гидродинамического моделирования, но этот подход не сможет указать, какие стратиграфические особенности влияют на КИН. Однако возможность оценить модель по не изменяющимся характеристикам до проведения гидродинамического моделирования позволит также сэкономить время, таким образом, это можно учесть в планировании и мониторинге разработки нефтегазовых месторождений. Следовательно, требуется путь классификации по статическим признакам моделей, влияющим на эксплуатационные характеристики. Такими признаками могут послужить топологические характеристики 3-х мерных моделей, дающие количественное пространственное представление об объекте разработки.

С другой стороны, масштабирование проницаемости с поровых размеров зерна на размеры месторождения также является предметом топологии.

Существуют практические эксперименты, подтверждающие факт того, что топологическими характеристиками можно достичь благоприятного прогнозирования относительной проницаемости на керновых данных, полученных рентгеновской томографией. Сравнение топологии тел и связанности также имеет хорошую корреляцию.

В настоящее время наибольший интерес в анализе данных оказывают методы машинного обучения. Машинное обучение способно не только увеличивать скорость обработки информации, но и повышает точность ответов, обнаруживая в данных незамеченные ранее взаимоотношения параметров, что несомненно является наиболее важным.

В нефтегазовом деле применение методов машинного обучения является инновационной задачей. Огромный багаж эмпирических знаний, проделанные людьми интерпретации данных делают машинное обучение очень перспективным и обнадеживающим направлением.

Максимальная автоматизация построения геологических моделей, приводящая к снижению рисков, связанных с неопределенностями, является одной из целей нефтегазовой отрасли

В этой работе будет идти речь о взаимосвязи топологии синтетических моделей с эксплуатационными характеристиками пласта, такими как КИН и дебит средней скважины.

Цель работы – получение зависимости между эксплуатационными и топологическими характеристиками пластов.

Геологическое и гидродинамическое моделирование, в котором определенные параметры, не влияющие на неоднородность, остаются постоянными, в то время как протяженность коллекторов и доля их от общего объема модели меняются, является простейшим методом создания базы данных для анализа взаимосвязи архитектуры резервуара и коэффициента извлечения нефти. Синтетические модели должны быть максимально приближены к реальным для прогнозирования эксплуатационных параметров, но факт того, что такие свойства, как, к примеру, пористость и проницаемость, не меняют-

ся при увеличении или уменьшении тел коллекторов, является допущением. Таким образом, основными задачами работы являются:

1) генерирование синтетических геологических моделей для разных обстановок осадконакопления, а именно: меандрирующие реки, дельты речного типа, баровые тела;

2) анализ пространственной неоднородности путём описания геометрии получившихся коллекторов при помощи топологических характеристик (чисел Бетти, Эйлеровой характеристики);

3) гидродинамическое моделирование и получение эксплуатационных коэффициентов пластов (КИН); анализ получившихся результатов и увязка топологических характеристик и эксплуатационных коэффициентов.

**Объектом исследования** являются эксплуатационные характеристики синтетически построенных пластов с их пространственной неоднородностью. Синтетические геологические модели и проведенные на них гидродинамические расчеты должны учитывать основные особенности фильтрации. Подробное описание процедуры построения моделей, их особенности и различия между собой приведены ниже на примере обстановок осадконакопления таких, как дельты и меандрирующие реки.

Для анализа неоднородности использовались топологические характеристики, полученные численным анализом трёхмерных геологических моделей. Топологические характеристики также рассмотрены ниже.

В результате эксплуатационные характеристики проанализированы для различных сеток скважин и вместе с полученными топологическими характеристиками послужили базой данных для использования машинного обучения.

# 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

## 1.1. Моделирование синтетических моделей

В работе исследование влияния топологических характеристик на эксплуатационные характеристики пластов проводилось на основе трехмерного гидродинамического моделирования технологии заводнения на синтетических моделях двух обстановок осадконакопления (меандрирующие реки и дельты речного типа), которые были построены при помощи объектного моделирования в программном пакете «Petrel».

В статье [5] рассмотрена классификация пространственных параметров речных тел, представляющая из себя литературный набор данных более 1500 пород, послужившая для геологического моделирования фаций меандрирующих рек. Отложения меандрирующих рек характеризуются одиночными или наслоившимися латерально удлиненными коллекторами, так называемыми прирусловыми барами. Подошва тела представляет собой каналные крупнозернистые отложения. Латерально протяженное тело бара обычно представлено средне мелкозернистыми зернами с уменьшением зернистости вверх по высоте [9]. Кровля пласта чаще всего состоит из глин и представляет собой заливную террасу (flood plain).

Канальные ответвления меандрирующих рек имеют большую извилистость, но могут сменяться спрямлёнными реками. Отложения характеризуются относительно большим отношением ширины к высоте, что отражается в латеральной соединённости отдельных канальных сегментов [5]. Концептуальная модель меандрирующих рек представлена в [10].

Для моделей с дельтовой обстановкой осадконакопления использовался источник [4], характеризующий размеры устьевых баров и дельтавидных рукавов. Эти и другие статьи помогли в построении синтетических геологических моделей, учитывающие основные особенности обстановки осадконакопления. Основные коллектора, принадлежащие дельтовой системе обстановки осадконакопления представляют собой распределительные каналы и

устьевые бары [4]. Распределительные каналы имеют малый индекс извилистости и большую амплитуду. Они могут накладываться друг на друга и, в то же время, образовывать неоднородность системы.

Существует корреляция между шириной и высотой этих тел, но она имеет большую степень ошибки в отличие от корреляции между шириной и длиной, которая утверждает, что в среднем ширина распределительных баров меньше длины в два раза [4]. Благодаря своим параметрам они имеют площади соразмерные малому месторождению и могут являться частью большого месторождения. Также эти тела имеют тенденцию к увеличению размера зерна кверху по сравнению с распределительными каналами, которые имеют противоположное направление увеличения зернистости.

## **1.2. Неоднородность системы**

Некоторые источники [1, 2, 3,] выделяют несколько определений связанности. Среди них связанность скважины с пластом, динамическая связанность, характеризующая процесс фильтрации и статическая связанность, характеризующая связанность отдельных тел. В статье [2] рассматривается влияние параметров вариограмного распределения тел на связанность трёхмерной модели, а именно модели с длинным рангом вариограммы имеют более протяженные геологические тела, чем с коротким рангом. В этой статье также проводится аналогия с перколяционным порогом для связанности через эффективную долю коллектора, который равен 0.31 для трёхмерного тела. Этот порог зависит от размера модели и становится более разряженным (порог имеет различные значения) для моделей с уменьшенным размером. Также существуют теоретические основы [3] описывающие связанность с точки зрения перколяции и топологии пространства.

Взаимосвязь архитектуры резервуара с производительностью пласта – это тема, которая неоднократно изучалась ранее. Подтверждение о влиянии связанности и непрерывности тел на КИН найдены в статьях [1, 2, 3], но яв-

ные взаимоотношения между этими параметрами явно нигде не прослежены. Специалисты в геологии утверждают, что архитектура и геометрические особенности резервуара значительно влияют на эксплуатационные характеристики, ссылаясь на аргументы взаимосвязанности тел, в то время как специалисты инженерного дела более склонны к влиянию анизотропии и неоднородности проницаемости [1].

### 1.3. Топология

Так как анализ неоднородности подразумевает создание большого количества моделей, требуется метрическая единица для пространственной характеристики, потому как гидродинамическое моделирование не может указать, какие стратиграфические особенности влияют на КИН.

Вычислительная топология в настоящее время является активно развивающейся наукой [3, 7, 11], предметом изучения которой стоят численные характеристики, описывающие пространственную неоднородность строения трёхмерных тел.

Сложность объекта разработки определяется множеством параметров, среди которых связанность тел, их пространственное взаимоотношение, количество включений и др. Пространственную неоднородность системы можно описать при помощи топологических инвариантов, так называемых чисел Бетти  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  являющихся рангами групп гомологий и характеризующие, соответственно, число связанных в модели тел, количество замкнутых комплексов и количество включений в телах [7].

Теория Морса, являющаяся самым распространенным подходом к вычислению чисел Бетти [12], имеет дело с фильтрацией пространств по критерию отсечения некоторой функции  $f$ . В алгоритме, предложенном [7] используется дискретные аналоги гладких функций, имеющие критические точки, в которых градиент функции равен 0, для нахождения Эйлеровой характеристики  $\chi$ . Эйлерова характеристика является с одной стороны альтер-

нативной суммой критических точек, индексы которых соответствуют нескольким шаблонам специально введенной окрестности точки, с другой стороны альтернативной суммой чисел Бетти.

Получение нулевого числа Бетти проводится при помощи критерия отсечения, отделяющего тела с коллекторскими свойствами от прочих. Затем алгоритм производит сканирование пространства до тех пор, пока не будет найдена первая ячейка, соответствующая коллектору. После этого цикл создает линейно связанный клеточный комплекс, в котором любые два куба соединяются последовательностью ячеек, соединенных между собой только по общей грани. Этот процесс позволяет алгоритму найти все оставшиеся тела и произвести их сортировку по количеству связанных ячеек. второе число Бетти находится исходя из теоремы Александера о двойственности. Первое число находится из альтернативной суммы чисел Бетти  $b_0$  и  $b_2$  и Эйлеровой характеристики [7]. Численный алгоритм нахождения топологических характеристик и его реализация были предоставлены [6].

О существовании благоприятной зависимости топологии керновых данных, полученных рентгеновской томографией, и относительной проницаемости описано в статьях [8].

#### **1.4. Машинное обучение**

В настоящее время наибольший интерес в анализе данных оказывают методы машинного обучения. Машинное обучение, являясь обширным подразделом искусственного интеллекта, имеет в своем арсенале методы математической статистики и оптимизации. Сегодня, машинным обучением занимаются люди, которые хотят оптимизировать рутинную работу и тратить на нее меньше времени. Помимо этого, машинное обучение не только увеличивает скорость обработки информации, но и повышает точность ответов, обнаруживая в данных незамеченные ранее взаимоотношения параметров, что, несомненно, является наиболее важным.

В [13] поясняется, как оценить результаты различными методами машинного обучения. Также рассказывается о методе градиентного бустинга, применяемый для регрессионных и классификационных задач, основной идеей которого является комбинирование функций, строящихся поэтапным процессом, на каждом шаге которой модель обучается при помощи информации об ошибках предыдущих моделей. В результате получается обученная модель, предсказывающая параметр по исходному объему информации.

В нефтегазовом деле применение методов машинного обучения является инновационной задачей. Огромный багаж эмпирических знаний, проделанные людьми интерпретации данных делают машинное обучение очень перспективным и обнадеживающим направлением.

Эти и другие статьи [14-26] использовались в написании данной работы.



## **2. ОЦЕНКА ВЗАИМОСВЯЗИ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК**

Учет неопределенностей, относящихся к геологическим особенностям месторождения, имеет важнейшее значение в оценке рисков, связанных с разработкой и оптимальной стратегией. Ключевыми параметрами неопределенности являются объём резервуара и дебит нефти, которые напрямую стоит отнести к статической и динамической неопределенности [1]. Геологическими факторами, влияющими на объем резервуара, являются: объем нефтенасыщенной эффективной части коллектора, пористость и водонасыщенность. К стратиграфическим факторам, влияющим на динамические неопределенности, можно отнести связанность, протяженность и пространственное распределение проницаемости [1]. К динамической неопределенности также можно отнести как эффект анизотропии и гетерогенности проницаемости, так и оптимизацию работы скважин.

В данной работе будет идти речь о динамической неопределенности, связанной со стратиграфическими факторами.

### **2.1. Создание синтетических геологических моделей**

В работе исследование влияния топологических характеристик на эксплуатационные характеристики пластов проводилось на основе трехмерного гидродинамического моделирования технологии заводнения на синтетических моделях двух обстановок осадконакопления (меандрирующие реки и дельты речного типа), которые были построены при помощи объектного моделирования в программном пакете «Petrel». Ниже представлены основные особенности геологических моделей.

#### **2.1.1. Модель меандрирующей реки**

В статье [5] рассмотрена классификация пространственных параметров речных тел, представляющая из себя литературный набор данных более 1500

пород, послужившая для геологического моделирования фаций меандрирующих рек. Построение синтетической модели меандрирующих рек проводилось на основе куба размером 1500x4500x50 метров (30x90x50 ячеек). Отложения характеризуются одиночными или наслоившимися латерально удлиненными коллекторами, так называемыми приусловыми барами. Подошва тела представляет собой каналные крупнозернистые отложения. Латерально протяженное тело бара обычно представлено средне мелкозернистыми зернами с уменьшением зернистости вверх по высоте [9]. Кровля пласта чаще всего состоит из глин и представляет собой заливную террасу (flood plain).

Канальные ответвления меандрирующих рек имеют большую извилистость, но могут сменяться спрямлёнными реками. Отложения характеризуются относительно большим отношением ширины к высоте, что отражается в латеральной соединённости отдельных канальных сегментов [5].

Ширина и толщина каналов распределялась треугольным распределением в диапазоне от 160 до 500 м. и от 5 до 10 м соответственно в то время как ширина и толщина приусловых баров варьировалась в диапазоне от 300 до 1000 м и от 3 до 10 метров соответственно. Получившийся куб фаций отражен на рисунке (Рисунок 2.1). Можно отметить схожесть концептуальной модели [10] (Рисунок 2.2.). Также на картинке представлен поперечный разрез для пористости (Рисунок 2.3), которая распределялась вариограммным распределением только в приусловых барах, характерным для данной фации (major 700, minor 500, vertical 5, min 0.05, max 0.25) с применением глубинного тренда.

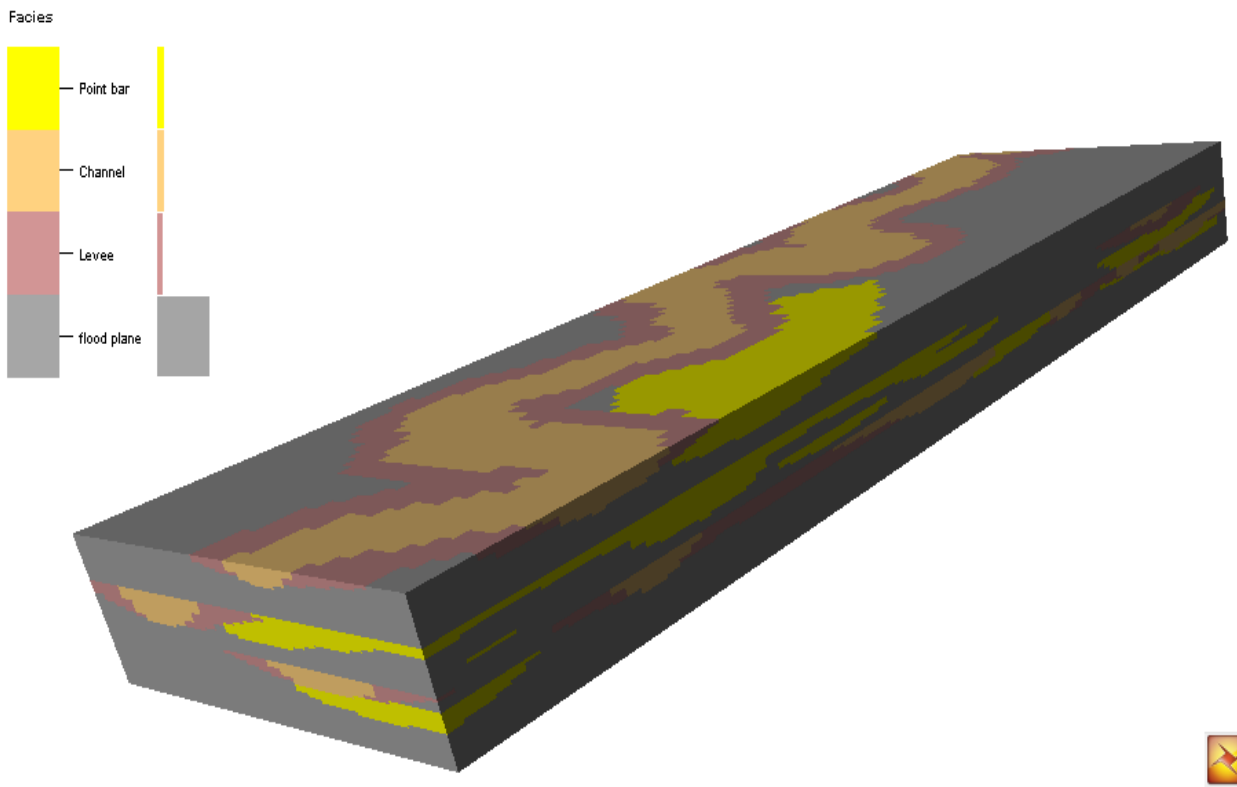


Рисунок 2.1 – Модель фаций меандрирующей реки. Желтый цвет представляет собой прирусловой бар (Point bar), красный и оранжевый цвет представляет собой фацию русла реки (Levee, Channel)

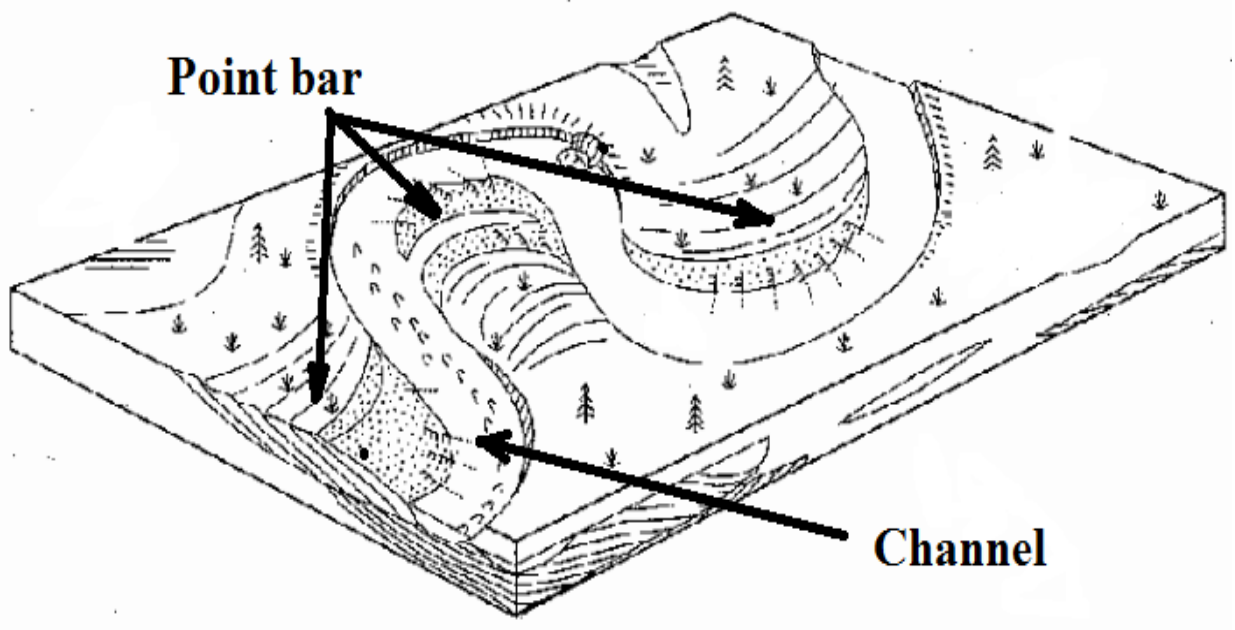


Рисунок 2.2 – Концептуальная модель меандрирующей реки. Прирусловой бар (Point bar), русло реки (Channel)

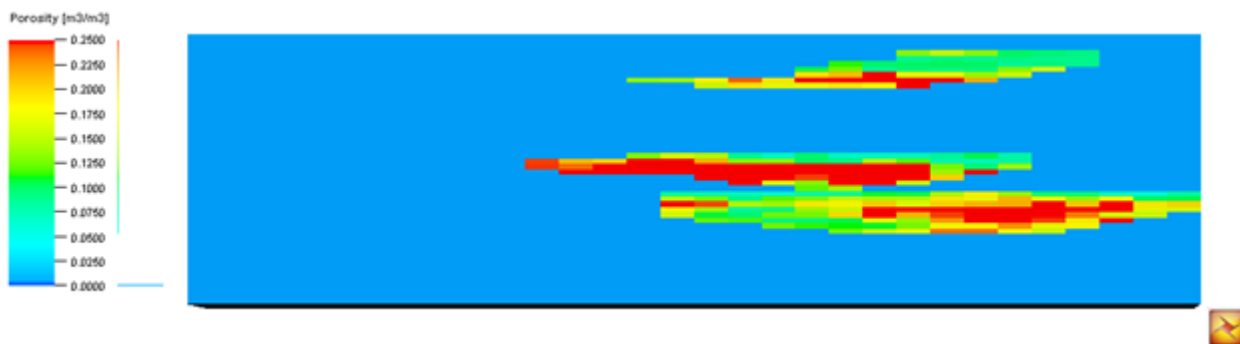


Рисунок 2.3 – Распределение пористости в прирусловых барах с характерным уменьшением пористости вверх по разрезу

### 2.1.2. Модель Дельты

Размер модели с дельтовыми обстановками осадконакопления отличается от меандрирующих рек и равен 2000x4000x30 метров (40x80x30 ячеек). Основные коллектора, принадлежащие дельтовой системе обстановки осадконакопления представляют собой распределительные каналы и устьевые бары [4]. Распределительные каналы имеют малый индекс извилистости и большую амплитуду. Они могут накладываться друг на друга и, в то же время, образовывать неоднородность системы.

Данные о широте устьевых баров находятся в пределах 1,1-10 км со средним значением в 2,5 км, а их длины имеют среднюю длину 6.5 км. Существует корреляция между шириной и высотой этих тел, но она имеет большую степень ошибки в отличие от корреляции между шириной и длиной, которая утверждает, что в среднем ширина распределительных баров меньше длины в два раза [4]. Благодаря своим параметрам они имеют площади соразмерные малому месторождению и могут являться частью большого месторождения. Также эти тела имеют тенденцию к увеличению размера зерна кверху по сравнению с распределительными каналами, которые имеют противоположное направление увеличения зернистости.

Куб фации и пористости представлены на рисунках (Рисунок 2.4) и (Рисунок 2.5) соответственно. Пористость, как и в случае с меандрирующими реками, распределялась вариограммным распределением только в коллекто-

рах. Таким образом распределения для устьевых баров (major 1000, minor 500, vertical 5, min 0.05, max 0.25 с трендом уменьшения вниз по разрезу) и для распределительных каналов (major 700, minor 100, vertical 10, min 0.05, max 0.2 с трендом уменьшения вверх по разрезу) отличались между собой.

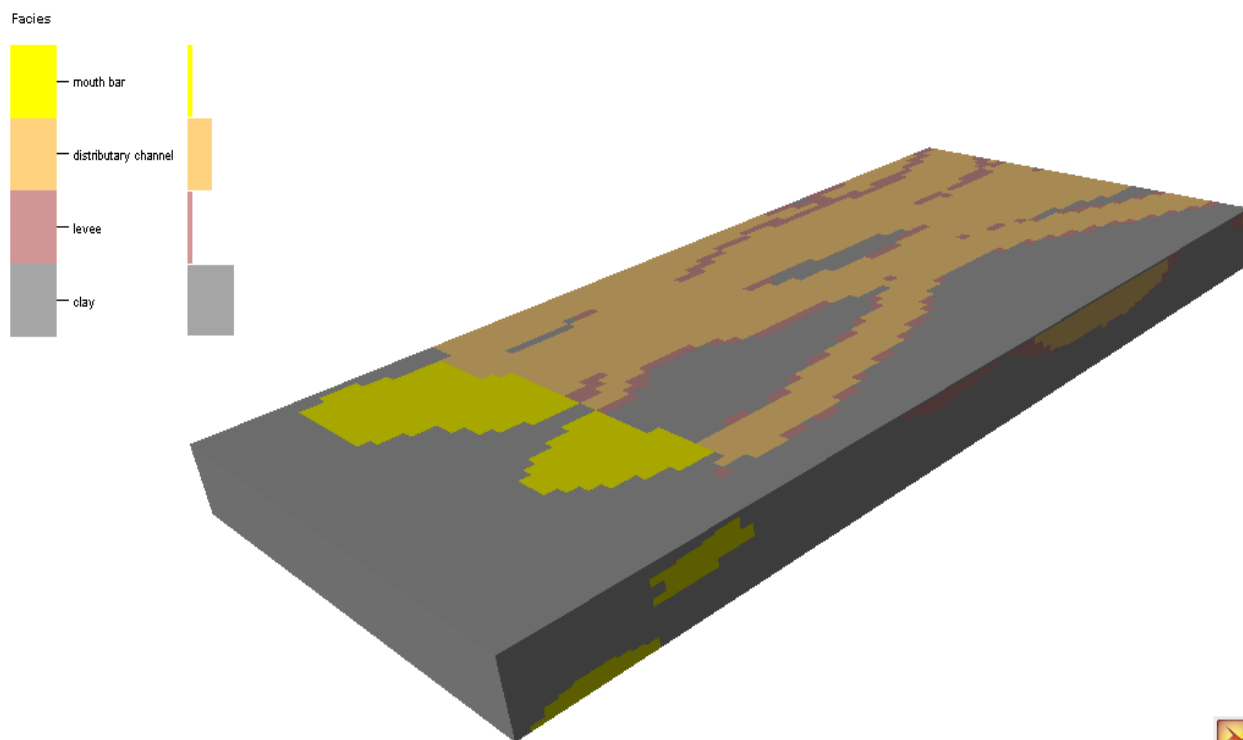


Рисунок 2.4 – Фациальный куб дельтовой обстановки. Желтым цветом обозначены устьевые бары (mouth bar), распределительные каналы представлены оранжевым и красным цветом (distributary channels), фон представлен серым цветом и представляет собой глины (clays)

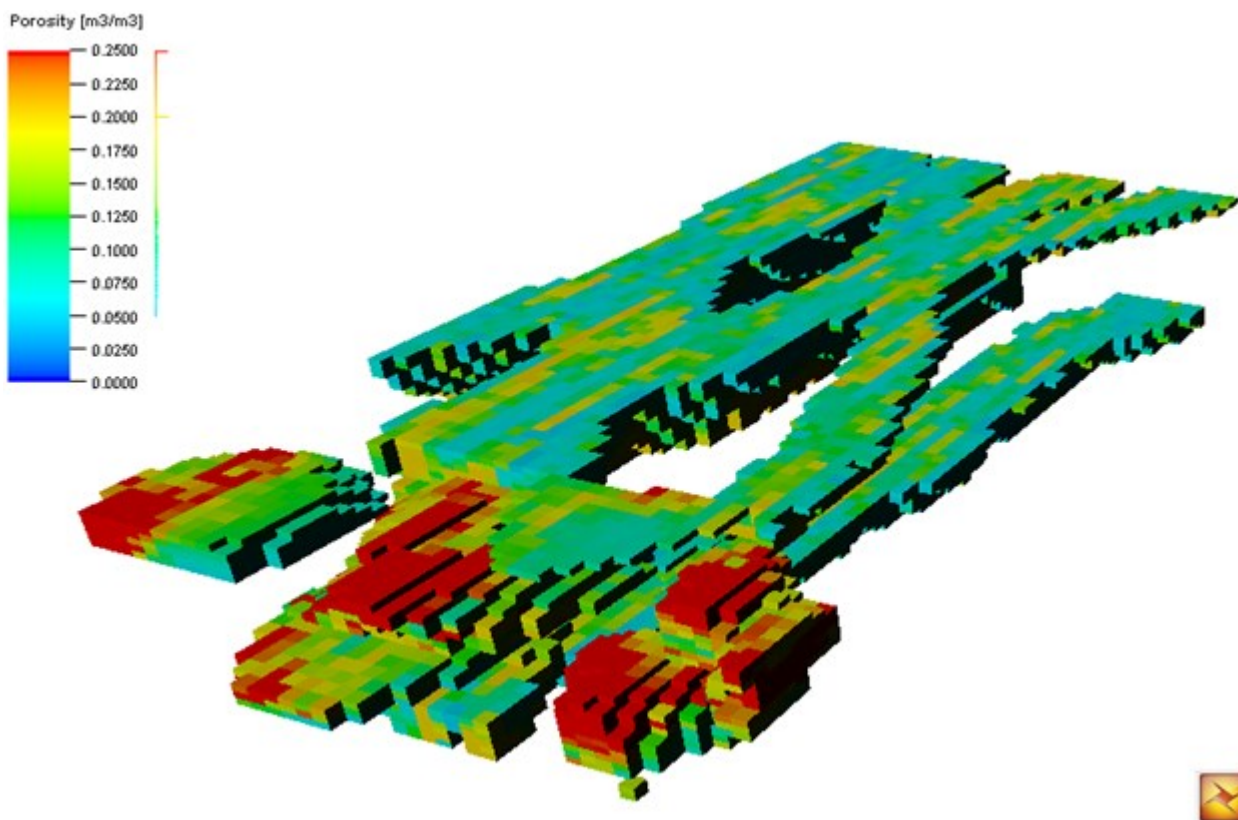


Рисунок 2.5 – Куб пористости дельтовой обстановки. В устьевых барах пористость распределена с уменьшением вниз по разрезу, в то время как в каналах пористость распределена с противоположным направлением

Затем, путём создания циклов в Workflow, были получены модели с различной долей тел в пространстве (от 10 до 60 %) и различными точками инициации моделирования, так называемыми «seeds». В результате получены геологические синтетические модели, учитывающие основные особенности фильтрации флюидов. Из этого следует отметить, что приведенные модели не отражают все существующие варианты взаимоотношений тел.

## 2.2. Оценка пространственной неоднородности

Так как анализ неоднородности подразумевает создание большого количества моделей, требуется метрическая единица для пространственной характеристики, потому как гидродинамическое моделирование не может указать какие стратиграфические особенности влияют на КИН.

Вычислительная топология в настоящее время является активно развивающейся наукой [3, 7, 11], предметом изучения которой стоят численные характеристики, описывающие пространственную неоднородность строения трёхмерных тел.

Предметом оценки топологических характеристик в данной работе являлись множества, полученные путём моделирования синтетических моделей и характеризующие отношение эффективной части модели к общей (так называемые кубы NTG), которые были получены при значении срезки равной  $\varphi=0.1$  в различных реализациях полученных ранее геологических моделей.

### **2.2.1. Топологические характеристики нефтяных коллекторов**

Сложность объекта разработки определяется множеством параметров, среди которых связанность тел, их пространственное взаимоотношение, количество включений и др. Пространственную неоднородность системы можно описать при помощи топологических инвариантов, так называемых чисел Бетти  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  являющихся рангами групп гомологий и характеризующие, соответственно, число связанных в модели тел, количество замкнутых комплексов и количество включений в телах [7]. Простыми примерами могут послужить шар и полые тор, двутор и тритор на (Рисунок 2.6).

Теория Морса, являющаяся самым распространенным подходом к вычислению чисел Бетти [12], имеет дело с фильтрацией пространств по критерию отсечения некоторой функции  $f$ . В алгоритме, предложенном [7] используется дискретные аналоги гладких функций, имеющие критические точки, в которых градиент функции равен 0, для нахождения Эйлеровой характеристики  $\chi$ . Эйлерова характеристика является с одной стороны альтернативной суммой критических точек, индексы которых соответствуют нескольким шаблонам специально введенной окрестности точки, с другой стороны альтернативной суммой чисел Бетти.

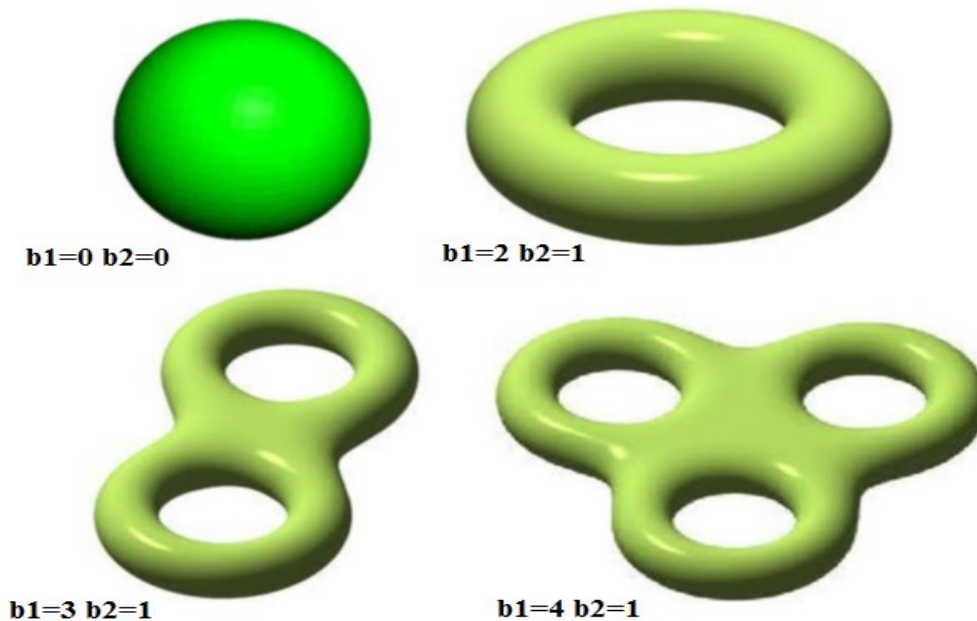


Рисунок 2.6 – Примеры тел и их топологические характеристики

Получение нулевого числа Бетти проводится при помощи критерия отсечения, отделяющего тела с коллекторскими свойствами от прочих. Затем алгоритм производит сканирование пространства до тех пор, пока не будет найдена первая ячейка, соответствующая коллектору. После этого цикл создает линейно связанный клеточный комплекс, в котором любые два куба соединяются последовательностью ячеек, соединенных между собой только по общей грани. Этот процесс позволяет алгоритму найти все оставшиеся тела и произвести их сортировку по количеству связанных ячеек. второе число Бетти находится исходя из теоремы Александера о двойственности. Первое число находится из альтернативной суммы чисел Бетти  $b_0$  и  $b_2$  и Эйлеровой характеристики по формуле (2.1):

$$b_1(X) = b_1(X) - \chi(X) + b_2(X) \quad (2.1)$$

Численный алгоритм нахождения топологических характеристик и его реализация были предоставлены [6]. Программный модуль принимает дан-



ные типа «GRDECL», полученные из программного комплекса компании «Schlumberger», называемого «Petrel». В приложении представлены связанные тела, таким образом, визуализировано первое число Бетти для моделей с различной долей тел в пространстве (**Приложение 1, Рисунок 1**) для дельтовых систем, (**Приложение 1, Рисунок 2**) для меандрирующих рек. Рисунки получены при помощи «Petrel». Также на рисунке в таблицах представлены безразмерные числа Бетти и Эйлера характеристика, полученные при помощи реализации численного алгоритма. Безразмерные числа Бетти получены при помощи взвешенной суммы по объёму каждой компоненты связности. Это сделано для того, чтобы не зависеть от размера модели в ячейках при сравнении результатов.

На примере 10-ти реализаций для каждой доли тел в объеме получено, что числа Бетти и Эйлера характеристика различаются в пределах 20-ти процентов от среднего значения для каждой доли тел. Различие уменьшается с увеличением доли тел и для максимальной доли тел составляет не более 10-ти процентов.

Графики зависимостей чисел Бетти  $b_1$  и  $b_2$ ,  $b_0$  и  $b_2$ , Эйлеровой характеристики и  $b_0$  представлены в приложении. На зависимостях красным сектором выделено, что в случае меандрирующих рек с долей прирусловых баров в модели равной 50-ти процентам происходит резкий взброс от линейной зависимости (**Приложение 4: Рисунок 8, Рисунок 9, Рисунок 10**) изображенный на рисунках красным сектором, обуславливающий значительное повышение связанности тела (уменьшение числа  $b_0$ ). В результате, с учетом визуализации первого числа Бетти (**Приложение 1; Рисунок 2**), показывающей, что при доле тел равное 50-ти процентам происходит перекрывание прирусловых баров друг с другом, не похожее на естественное отложение осадков, было принято решение удалить эти значения из общего объема данных. Резкое повышение связанности также подтверждается гидродинамическим расчетом, показывающим крутой скачок КИН по сравнению с случаями, описы-

вающими доли тел со значениями ниже 50-ти процентов (**Приложение 4 Рисунок 11**), о чем будет идти речь ниже.

### 2.3. Гидродинамическое моделирование

Прежде чем проводить гидродинамическое моделирование было рассмотрено понятие коэффициента извлечения нефти (КИН), который рассчитывается через отношение накопленной добычи нефти с начала разработки к количеству начальных геологических запасов. Также КИН может быть получен через произведение коэффициентов охвата и вытеснения формулой А.П. Крылова (2.2):

$$\text{КИН} = \frac{N_p}{N} = K_{\text{выт}} * K_{\text{охв}} \quad (2.2)$$

, где  $\frac{N_p}{N}$  – отношение накопленной добычи к начальным геологическим запасам;

$K_{\text{выт}}$  – коэффициент вытеснения нефти;

$K_{\text{охв}}$  – Коэффициент охвата при заводнении, который зависит от количества и расположения скважин, соотношения мобильности воды и нефти, накопленной закачки воды и пространственной неоднородности геологической модели.

Для того, чтобы сделать уклон на оценку КИН в зависимости от пространственной неоднородности, синтетические модели были построены с не изменяющимися факторами, влияющими на коэффициент вытеснения, а именно проявлением капиллярных сил и различным минералогическим составом пород. Также используется модель нелетучей нефти “Blackoil”, так как выделившийся газ влияет на эффективность вытеснения и, соответственно, на оценку основных технико-экономических показателей разработки.

Для проведения гидродинамических симуляций были выбраны 3 системы разработки месторождений – рядная, пятиточечная, семи точечная с расстоянием между добывающими и нагнетательными вертикальными сква-

жинами 500м, схемы которых представлены в (**приложение 2 Рисунок 3, Рисунок 4**).

Для качественного сравнения полученных результатов на всех моделях, расчет был проведен со следующими параметрами для скважин:

- Лимит по добыче жидкости - 100 м<sup>3</sup>/день;
- Забойное давление на добывающих скважинах – 85 атмосфер (при давлении насыщения 80 атмосфер);
- Забойное давление на нагнетательных скважинах 350 атмосфер (при первоначальном пластовом давлении 260 атмосфер).

Проницаемость напрямую зависит от пористости и принимает значения от 0 мкм<sup>2</sup> в глинах до 100 мкм<sup>2</sup>. Водонасыщенность распределена одинаково по модели и, в начальный момент времени, равна 20%, что эквивалентно остаточной водонасыщенности. Время расчета 50 лет.

Конечный анализ данных представлен в виде поведения кривой КИН (RF) в зависимости от закаченного водой объема пор (PVI), что, при заданном количестве нагнетательных и добывающих скважин, объемах закачки и объеме пор, позволяет обобщить результат и получить параметры для скважин, такие как дебит средней добывающей скважины и количество закачиваемой воды средней нагнетательной скважины.

#### **2.4. Анализ пространственной неоднородности**

Результаты для одной и той же точки инициации фациального моделирования представлен в приложении для различных вариаций долей тел в модели (**Приложение 4 для дельтовых систем: Рисунок 8, Рисунок 9, Рисунок 10; для меандрирующих рек: Рисунок 11, Рисунок 12, Рисунок 13**). Данный численный эксперимент показывает зависимость неявного характера между эксплуатационными параметрами и Эйлеровой характеристикой. Стоит отметить, что самыми важными с точки зрения месторождения являются

первые 0.5 поровых объема, потому как дальше уменьшается угол наклона кривой к оси ординат, что говорит о снижении выгоды закачки воды.

В этом случае, хорошим вариантом для поиска зависимости явились методы машинного обучения.

После проделанного гидродинамического просчета на разных точках инициации, выходными параметрами из симулятора послужили поровый объём, эффективная доля коллектора, количество нагнетательных и добывающих скважин, попавших в коллектор. Объём закаченной воды и КИН были выгружены на протяжении 50-ти лет (примерно 600 значений на одну гидродинамическую модель). Также при помощи алгоритма были подсчитаны числа Бетти для каждой модели и вместе с выгрузкой гидродинамических данных был проведён анализ зависимости параметров друг от друга.

Результаты зависимостей между параметрами представлены на Рисунке 2.7. Нужно отметить как положительную (выше 0.25) корреляцию между входными параметрами, влияющими на геологическую основу модели, так и влияние этих параметров на КИН, корреляция которой колеблется около нуля за исключением взаимосвязи КИН и порового объёма. Объём резервуара обычно используется как наиболее важный статичный определитель для сортировки моделей в гидродинамических расчетах [1].

Машинное обучение, являясь обширным подразделом искусственного интеллекта, имеет в своем арсенале методы математической статистики и оптимизации. Данное направление искусственного интеллекта подразделяется на три типа: с учителем, без учителя и с подкреплением. В данной работе идет речь о наиболее применимом методе называемым обучением с учителем (иначе контролируемое обучение или supervised learning).

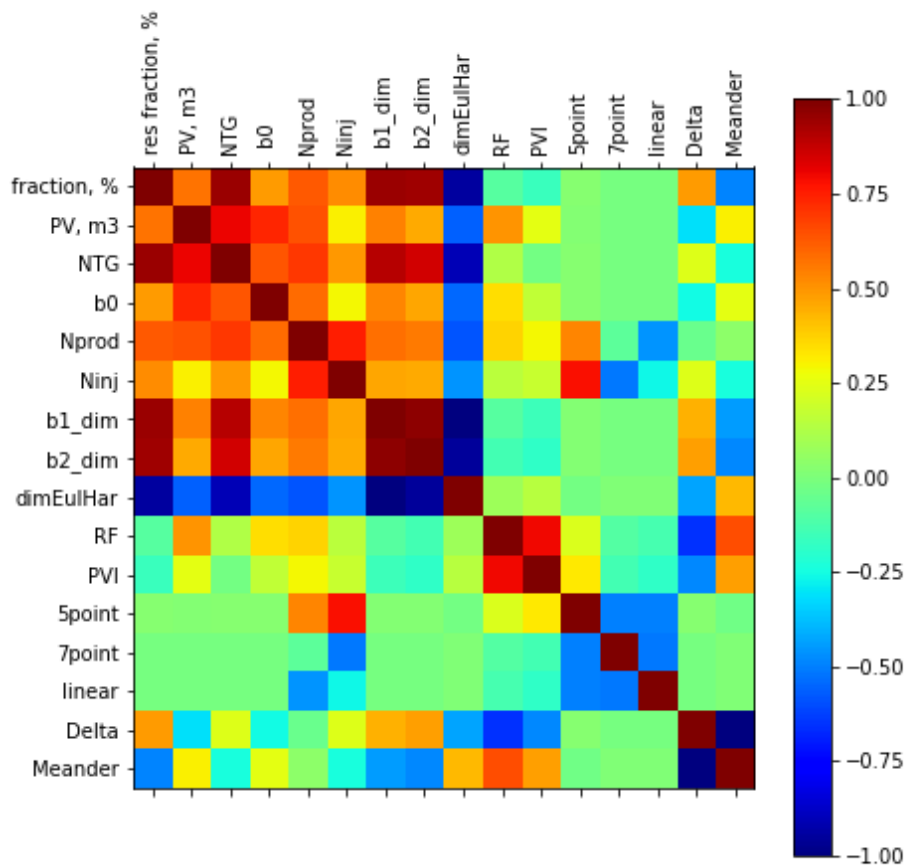


Рисунок 2.7 – Корреляционная панель зависимости входных параметров друг от друга. В Таблице участвуют доля тел в модели (reservoir fraction), поровый объём (PV), доля эффективной части модели к общей (NTG), числа Бетти ( $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ ), количество добывающих ( $N_{prod}$ ) и нагнетательных ( $N_{inj}$ ) скважин, Эйлера характеристика (dimEulHar), КИН (RF), закаченный объем воды (PVI). Остальные параметры представляют собой закодированные случаи различных ситуаций моделирования: 5-ти точечная (5point), 7-ми точечная (7point), рядная (linear) схемы разработки

Анализ информации был проведен в дистрибутиве «Anaconda», направленном на предоставление библиотек языка программирования «Python», при помощи реализации алгоритма градиентного бустинга на деревьях решений, называемым «XGBoost». Один из алгоритмов обучения с учителем является Градиентный бустинг, применяемый для регрессионных и классификационных задач, основной идеей которого является комбинирование функций, строящихся итеративным процессом, на каждом шаге которой мо-

дель обучается при помощи информации об ошибках предыдущих моделей. В результате получается обученная модель, предсказывающая параметр по исходному объему информации.

Для проведения выполнения алгоритмом задачи, было необходимо представить данные в виде «объект, ответ». Ответ был задан как значение КИН в зависимости от объекта, который задавался остальными параметрами (см. Рисунок 2.7). Заданием алгоритма градиентного бустинга было нахождение взаимосвязи между объектом и ответом с наибольшим корреляционным параметром.

Как было отмечено ранее (см. Рисунок 2.7) объём резервуара по сравнению с остальными статичными параметрами пропорционален КИН с наибольшим корреляционным числом. Исходя из этого, предсказание на основе пространственных характеристик было проведено в сравнении с предсказаниями на основе объёма резервуара. Также проводился анализ данных на основе всех параметров. Был проведён поиск наиболее подходящих гиперпараметров XGBoost и подсчет коэффициента корреляции предсказанных параметров с реальными данными моделей. Результат можно увидеть на Рисунке 2.8 в случае меандрирующих рек и на Рисунке 2.9 – в случае дельтовой системы с минимально рассмотренной в этой работе доли тел в моделях, сам код представлен в **Приложении 5 (Рисунок 14, Рисунок 15)**. Выборка для обучения предсказаний составляла 75% от общего объёма данных. Знание КИН, порового объёма тел и количества добывающих скважин позволит определить дебит средней скважины.

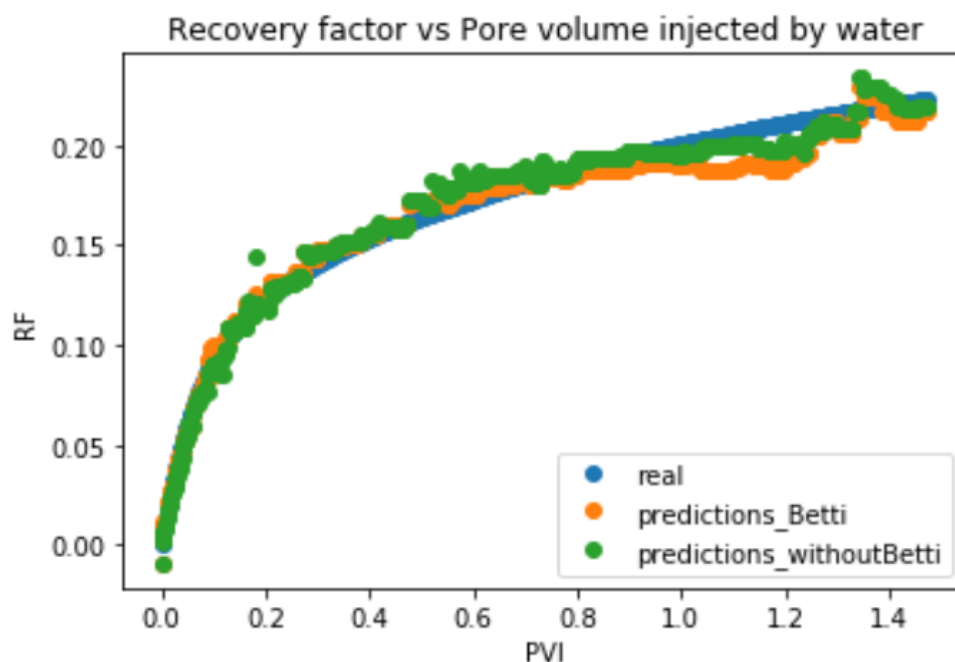


Рисунок 2.8 – Предсказание результатов КИН при помощи чисел Бетти (Predicions Betti) и без них (predictions without Betti) в случае меандрирующих рек с долей тел в модели равной 10 процентов (синим цветом представлены данные гидродинамического расчёта)

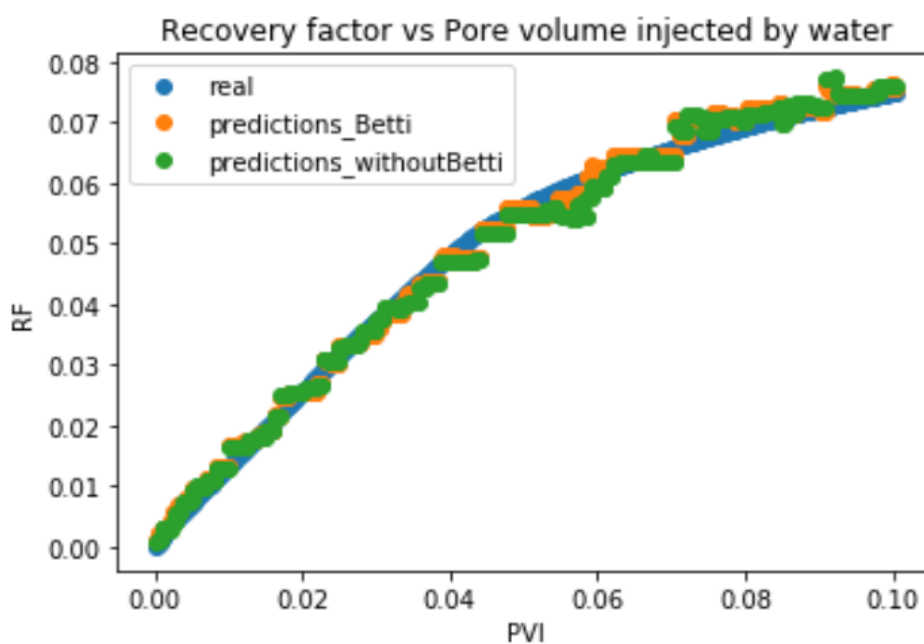


Рисунок 2.9 – Предсказание результатов КИН при помощи чисел Бетти (Predicions Betti) и без них (predictions without Betti) в случае дельтовой системы с долей тел в модели равной 15 процентов (синим цветом представлены данные гидродинамического расчёта)

### 3. ОПРОБОВАНИЕ МОДЕЛИ НА РЕАЛЬНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

#### 3.1. Геология Крапивинского месторождения

##### 3.1.1. Общие сведения о месторождении

Основная часть Крапивинского месторождения расположена в Томской области, его небольшая по площади юго-западная часть (район скважин №№ 220Р, 222Р, 223Р) входит в состав Омской области (Рисунок 3.1).

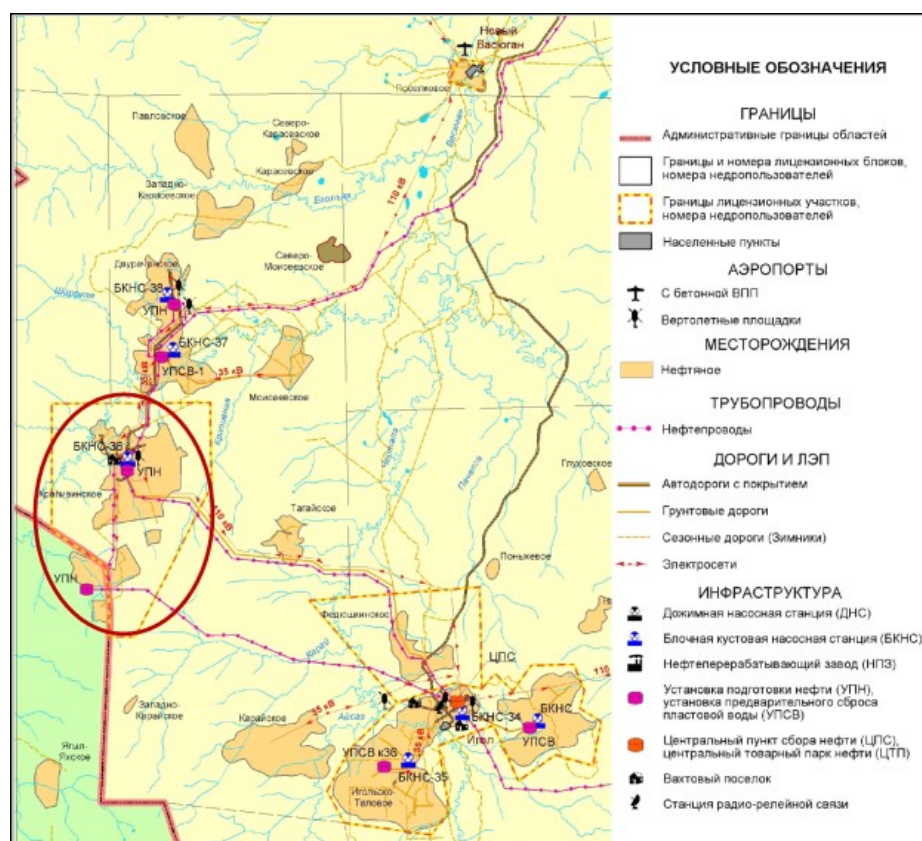


Рисунок 3.1 – Карта района Крапивинского месторождения

Месторождение входит в Игольскую группу месторождений, среди которых наиболее крупными являются разрабатываемые Крапивинское, Игольско-Таловое (50 км на юго-восток) и Двуреченское (объединяющее Двуреченскую, Лесмуровскую и Западно-Моисеевскую площади - в 7 км на север) нефтяные месторождения. Ближайшие разведанные и подготовленные к разработке мелкие месторождения – Моисеевское (17 км на Северо-восток), Тагайское (17 км на восток), Карайское (25 км на юго-восток), Западно-Карайское (10 км на юг).



### 3.1.2. Литология

В геологическом строении описываемого района принимают участие терригенные отложения различного литолого-фациального состава мезозойско-кайнозойского платформенного чехла и в различной степени метаморфизованные и дислоцированные породы доюрского складчатого фундамента. Отложения чехла, имеющие в пределах рассматриваемого района общую мощность 2800-3000 м и более, залегают на денудированной и выветрелой поверхности фундамента несогласно, со стратиграфическим перерывом.

В результате анализа обстановок осадконакопления с гранулометрическим методом, было выделено 4 типа фациальных обстановок, характеризующих обстановки движения активных морских течений и прибрежных волн. В результате была описана модель прибрежно-морского седиментогенеза [27].

### 3.1.3. Стратиграфия

Район работ приурочен к Каймысовскому нефтегазоносному району Каймысовской нефтегазоносной области и относится к перспективным землям 1 категории.

На Крапивинском месторождении промышленная нефтегазоносность разреза связывается с двумя песчаными пластами горизонта Ю<sub>1</sub> васюганской свиты - Ю<sub>1</sub><sup>2</sup> и Ю<sub>1</sub><sup>3</sup>, разделенных углисто-глинистой перемычкой Ю<sub>1</sub> толщиной от 2 до 10 м.

Пласты неоднородные, не выдержаны по мощности, литологии и фациям, коллекторским свойствам, продуктивности. В плане залежи по пластам не имеют замкнутого контура нефтеносности на одну ловушку, пространственно и структурно обособляются в виде самостоятельных локальных участков со сложным, смешанным типом экранирования, в т. ч. структурным, литологическим, стратиграфическим. Месторождение относится к многопластовым, нефтяным.

Основные балансовые (промышленные) запасы нефти (более 80%) сконцентрированы в пласте Ю<sub>1</sub><sup>3</sup>, который характеризуется распространением в его составе разно-дебитных, высоко-, средне- и низко-проницаемых типов коллекторов. Пласт Ю<sub>1</sub><sup>2</sup> представляется как низко-дебитный, низко-проницаемый, маломощный и низко-продуктивный.

Особенностью нефтеносного резервуара является «скачкообразное» поведение водонефтяного контакта (ВНК) с разницей абсолютных отметок до 70 м.

### **3.1.3.1 Пласт Ю<sub>1</sub><sup>2</sup>**

Залежь пласта Ю<sub>1</sub><sup>2</sup> на Крапивинском месторождении является возвратным объектом разработки, вследствие чего в процессе проведённого эксплуатационного бурения уточнялись нефтенасыщенные толщины коллектора, и расширялась база лабораторных исследований. Геологическая модель резервуара не пересматривалась в связи с геологической подтверждаемостью ранее созданной модели. С учётом вновь полученных данных глубокого бурения детализированы структурные карты, уточнена структурная карта резервуара [27].

### **3.1.3.2 Пласт Ю<sub>1</sub><sup>3</sup>**

Основные промышленные запасы на Крапивинской площади связаны с пластом Ю<sub>1</sub><sup>3</sup>, общие толщины которого изменяются от 16 м на востоке до 26 м на северо-западе Крапивинского поднятия. Новые данные, полученные в результате эксплуатационного бурения и более глубокого обобщения имеющегося фактического материала позволяют пересмотреть ранее сформированную модель строения залежей пласта Ю<sub>1</sub><sup>3</sup> с позиции условий седиментации резервуара.

Чередование высокопроницаемых и низкопроницаемых коллекторов при формировании регрессивных осадочных серий описано на примере ме-

ловых песчаников Скалистых гор. Имея форму покровов, эти песчаники хорошо и однозначно интерпретируются. Однако отыскать участки с хорошими коллекторскими свойствами не так просто. За счёт глинистого матрикса значения пористости и проницаемости коллектора низкие. Оптимальные свойства отмечаются в кровле пласта на участках, где повышенная пористость обусловлена значительным снижением в песчанике глинистого материала вследствие высокой степени его сортировки в мощных песчаных бенчах. Поскольку последние встречаются в виде узких полос шириной около 3–5 км, локализовать их не всегда просто, и даже когда они найдены, нелегко установить их региональный тренд [29].

#### **3.1.4. Седиментология**

Особенностями строения пласта Ю<sub>1</sub><sup>3</sup> в северной части Крапивинского месторождения, где на фоне чешуйчатого прилегания баровых построек отмечается чередование разрезов первого (высокопроницаемого) и четвёртого (низкопроницаемого) типов (Рисунок 3.2). Формирования такой последовательности связано с неравномерной скоростью продвижения береговой зоны. В периоды седиментации, когда скорость осадконакопления достаточно высокая, у береговой линии накапливается преимущественно тонкозернистый материал. Это проявляется в быстром росте в сторону моря береговых песчано-алеврито-иловых равнин. В периоды, когда скорость осадконакопления намного ниже, отлагающийся материал вдоль береговой линии перемывается под действием течений и волновой деятельности. Ил выносится, и из оставшегося песка образуется пляж. Развитие береговых валов определяется периодичностью накопления осадков у берега. Наступает время, когда скорость седиментации увеличивается настолько, что она подавляет процессы вымывания, приводящие к сортировке песка и его накоплению [27].

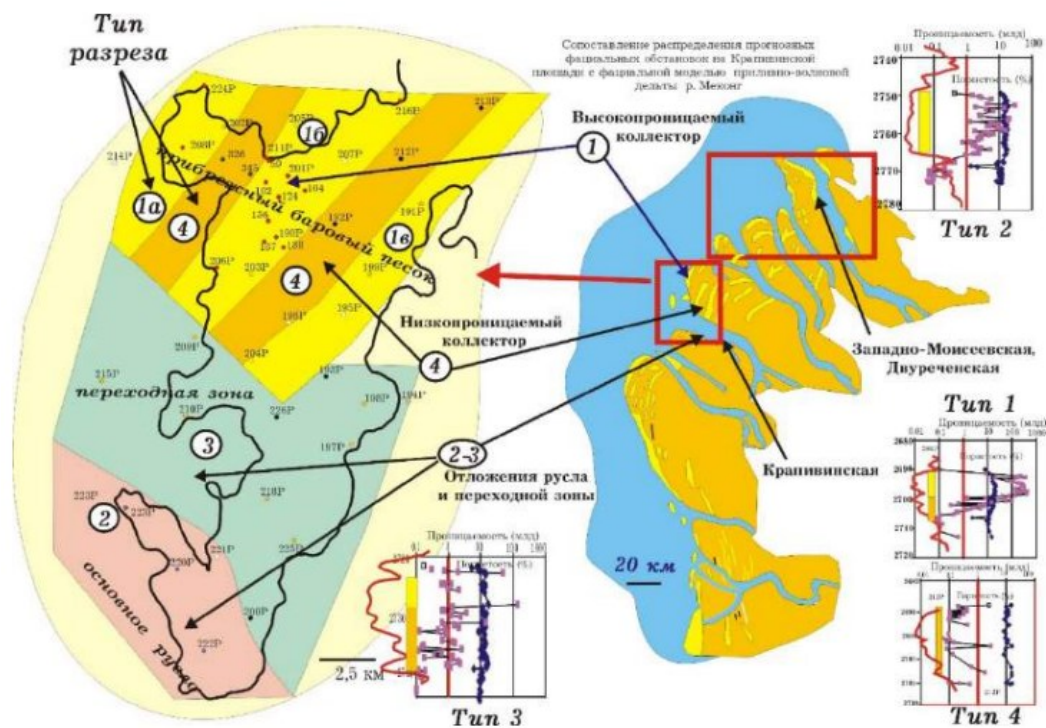


Рисунок 3.2 – Фациальная интерпретация строения пласта Ю<sub>1</sub><sup>3</sup> Крапивинского месторождения [27]

О наличии крупного дельтового канала свидетельствует блоковая форма кривой ПС в скважинах № 222, 221, 223, 220 (Рисунок 3.2) и более однородная фильтрационная структура коллектора, что является характерным признаком русловых фаций дельтовых комплексов (Рисунок 3.3) [27].

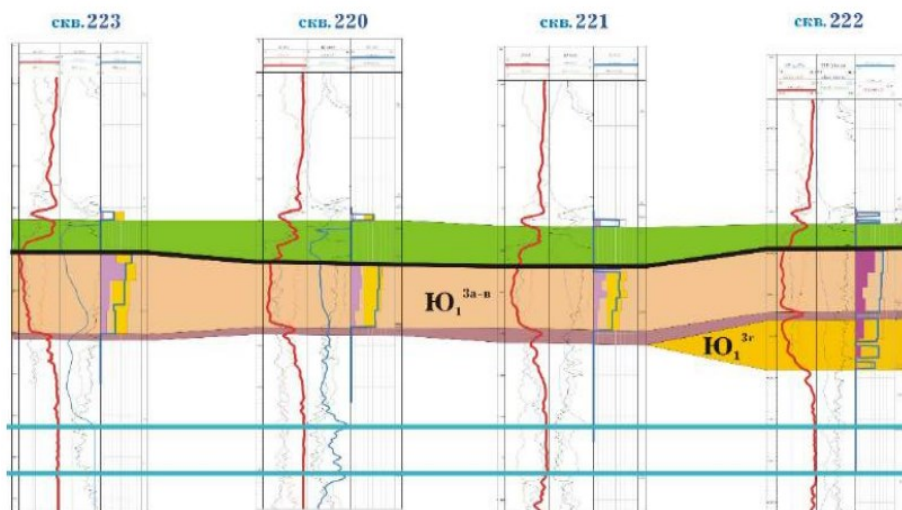


Рисунок 3.3 – Схема корреляции пласта Ю<sub>1</sub><sup>3</sup> юго- западной части Крапивинского месторождения (область развития крупного дельтового канала) [27]

В соответствии с предлагаемой седиментационной моделью, нефтегазоносность пласта Ю<sub>1</sub><sup>3</sup> Крапивинского поднятия можно разделить на три зоны:

- зону нефтегазоносности береговых баровых песчаников, для которой свойственно чередование по площади полосовидных участков улучшенных и ухудшенных коллекторов, имеющих сложную конфигурацию линии литологического замещения;

- зона нефтегазоносности русла дельты, где прогнозируется устойчивый по площади коллектор и как следствие этого более простой тип залежи нефти;

- нефтеносность переходной зоны обусловлена характером переслаивания фациально разнородных песчаных тел и их гидродинамической связью с нефтяными полями первых двух зон [27].

Область развития литотипа 1в достаточно отчётливо проявляется лишь в северо-восточной части (см. Рисунок 3.2). Наличие промышленно продуктивного коллектора, ранее относимого к литотипу разреза 1в в районе скважины № 204, наиболее вероятно связано с зоной развития устьевых баровых построек второстепенного дельтового канала. Этот канал выделяется восточнее скв. № 193, имеет юго-западную ориентировку и 28 расположен под прямым углом к вышеописанным дельтовым рукавам. Область развития осадков переходной зоны выделена по границе пониженных параметров атрибута мгновенных фаз в южной и юго-восточной частях 3D съёмки (скв № 225, 218, 210).

В южной части площади по атрибуту мгновенных фаз выделяется фрагмент меандры основного русла Крапивинской палеodelьты (Рисунок 3.4) [29].

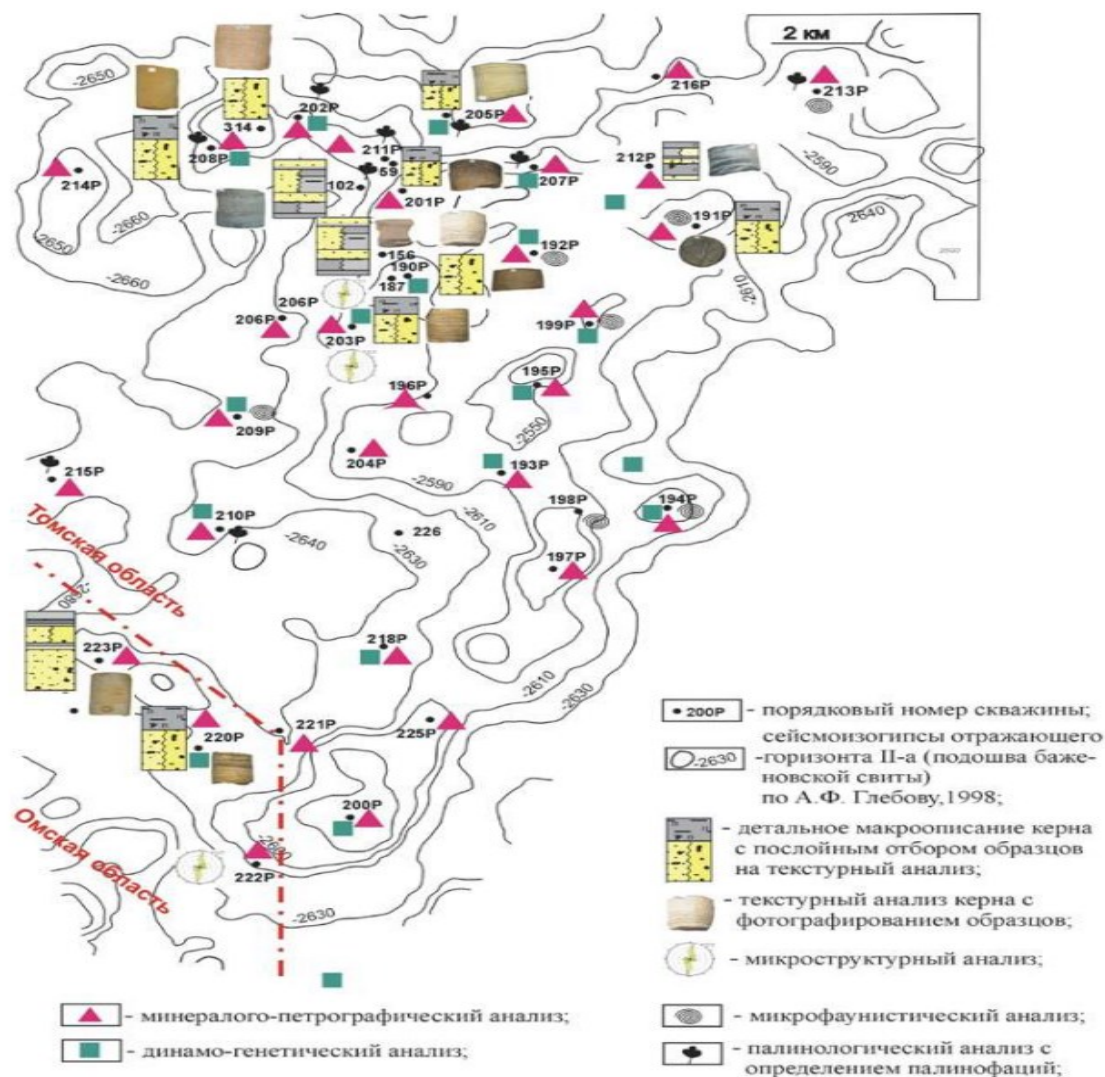


Рисунок 3.4 – Схема литолого- стратиграфической изученности отложений верхней юры Крапивинской площади [27]

Кроме того, по этому параметру можно выделить две тектонически нарушенные зоны северо-восточной ориентировки. Наличие разрывных нарушений, ориентированных вдоль простирания береговых линий (седиментационные разломы), характерно для дельт серповидного и лопастного типа, например дельта р Нигер.

С учётом проведённой сейсмофациальной детализации, можно спрогнозировать историю формирования пласта Ю<sub>1</sub><sup>3</sup> в процессе развития дельтового комплекса.

На ранней стадии образования резервуара Ю<sub>1</sub><sup>3</sup> береговая линия авандельты и зона формирования береговых баровых построек пассивной стадии выдвижения дельты (литотип разреза 1в) располагалась в районе скважин №

197, 198, 199, 191 (Рисунок 3.5). Переходная область совместного присутствия прибрежно-морских и русловых отложений (литотип разреза 3) выделяется в скважинах № 218, 200, 225, русловые отложения (литотип разреза 2) были характерны для южной части поднятия (скв № 220, 221, 222).

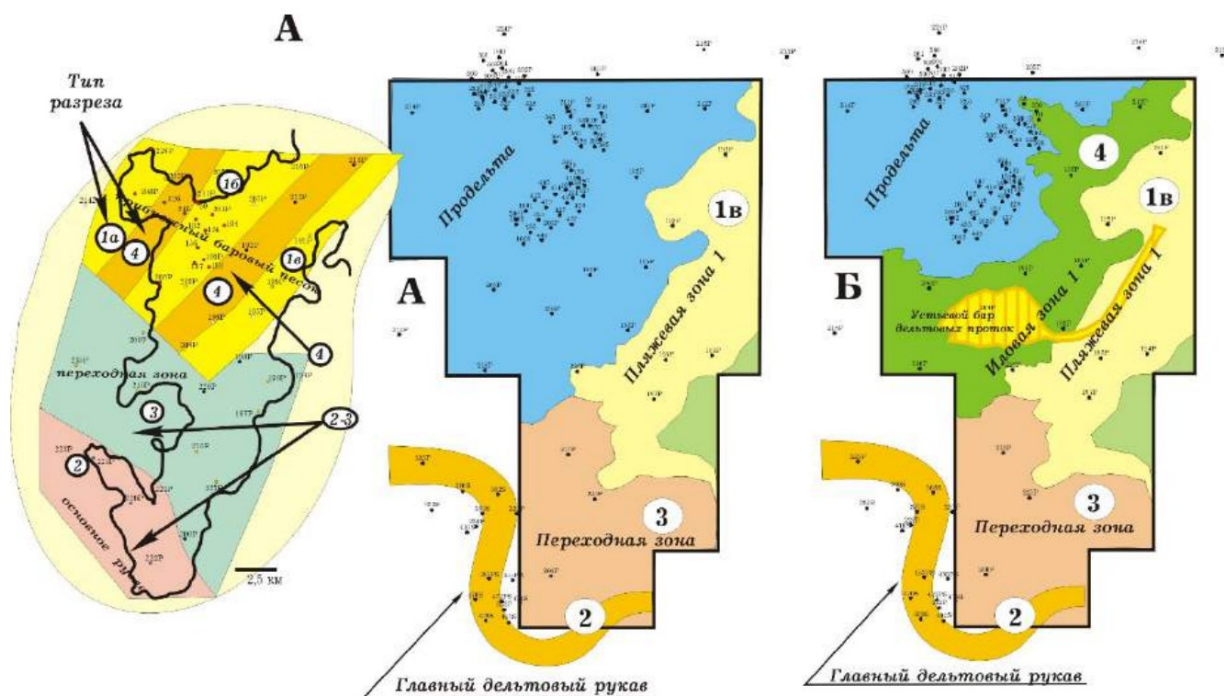


Рисунок 3.5 – Фациальная схема продуктивного резервуара Ю13 Крапивинского месторождения на время формирования литотипа 1в [29]

На остальной территории накапливались глинистые осадки авандельты. Последующий процесс быстрого выдвижения дельтового комплекса в северо-восточном направлении способствовал накоплению зоны слабопроницаемых несортированных авандельтовых песчаников активной стадии развития дельтовой системы (литотип разреза 4 скв № 212, 192, 195, 196, 193, 210), в которой выделяется область разгрузки второстепенного дельтового канала (скв № 204). Более сортированный песчаный материал устьевого бара второстепенной дельтовой протоки сформировал, в пределах низкопроницаемого коллектора четвёртого литотипа, локальный участок с улучшенными фильтрационно-емкостными свойствами резервуара [27].

Область седиментации алевритоглинистых отложений продельты переместилась в северо-западном направлении (скв № 203, 207, 211, 208, 224).

Дальнейшее выдвигание дельты и относительная стабилизация береговой линии (см. Рисунок 3.4) способствовало накоплению сортированных песчаников авандельты (литотип разреза 1б). Наиболее значительно прорабатывались пески пляжевой зоны, приуроченные к кровле резервуара. Фациальная неоднородность коллектора связана с наличием второстепенных дельтовых рукавов и осложняющих их, устьевых баровых построек. В зоне взаимодействия речного потока и волноприбойной деятельности происходило снижение гидродинамической активности русла, сортировка терригенного материала ухудшалась, коллекторские свойства устьевого бара снижались. Это отразилось в уменьшении продуктивности скважин, пробуренных в области развития устьевых баров (скважины четырёхсотых номеров скв № 156, 176, 187, 188) относительно скважин, расположенных в зоне развития авандельтовых и пляжевых песков (скв № 201, 104, 124 и др) [29].

За эпохой стабилизации береговой линии, сформировавшей литотип разреза 1б далее последовало кратковременное и активное выдвигание дельты, что привело к формированию полосовидной зоны низкопроницаемых (литотип разреза 4) коллекторов северо-восточной ориентировки, выделяемых по скважинам № 326, 345.

Завершает латеральный ряд баровой системы авандельты полоса наиболее проработанных, высокопроницаемых песчаников (литотип разреза 1а) накопление которых связано с условиями относительной стабилизации береговой линии.

В процессе развития баровой системы в северо-западном направлении происходило выдвигание и основного русла дельты. Связь этих двух основных элементов дельтового комплекса осуществлялась через переходную зону, в которой присутствуют как элементы баровых, так и русловых построек.

Регрессия морского бассейна способствовала частичной денудации кровельной части разреза в пределах зоны развития литотипа 1в. Так, осадки пляжевой зоны полностью отсутствуют в скважинах № 198, 194 и частично в скв № 191, 199, 197.



Проведённая геологическая интерпретация условий формирования резервуара Ю<sub>1</sub><sup>3</sup> Крапивинского месторождения является основой для формирования полной петрофизической и гидродинамической моделей коллектора с учётом фациальной неоднородности резервуара, наличия литологических, фильтрационных и тектонических барьеров, разобщающих нефтяное поле на ряд самостоятельных залежей [27].

### **3.1.5. Особенности тектоники**

Характерной особенностью Каймысовского свода является субмеридиальная составляющая структурного плана его центральной части и наличие двух основных систем тектонических нарушений северо-западного и северо-восточного простирания, в региональном плане генетически связанных с Колтогорско-Уренгойским мегапрогибом.

Согласно «Тектонической карте юрского структурного яруса осадочного чехла западных районов Томской области» под редакцией Конторовича А.Э. (Рисунок 3.6), Крапивинское месторождение приурочено к юго-западному склону Крапивинско-Моисеевского к. п. – структуры II порядка. Крапивинское месторождение приурочено к одноименному локальному поднятию, расположенному в южной части Каймысовского свода.

В глубинном строении района принимают участие два структурных этажа, разделенных между собой поверхностью углового и стратиграфического несогласия: нижний гетерогенный складчато-блоковый палеозойский фундамент, сложенный сильно метаморфизованными, дислоцированными горными породами различного состава, прорванными интрузиями и осложненными многочисленными тектоническими нарушениями, и верхний платформенный чехол, представленный преимущественно терригенными породами.

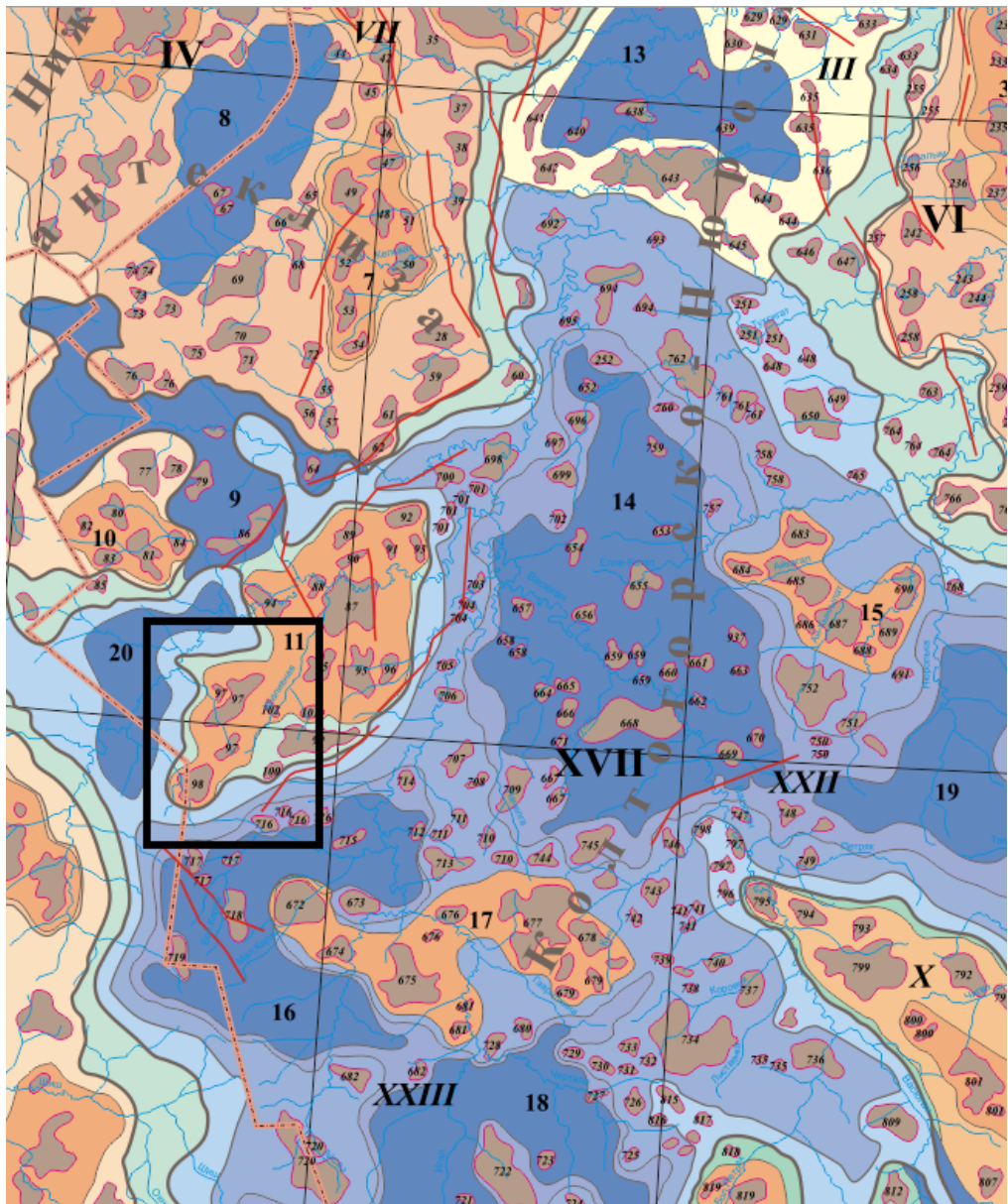


Рисунок 3.6 – Фрагмент тектонической карты юрского структурного яруса осадочного чехла западных районов Томской области, 2001 г.  
(ред. А.Э. Конторович)

### 3. 2. Сопоставление промысловых данных и полученных результатов

Данные по Крапивинскому месторождению были предоставлены в виде геологической модели и промысловых значений добычи нефти и закачки воды каждой скважины. Обработка данных была проведена путём получения топологических характеристик из выгруженного куба NTG модели.

Стоит иметь ввиду, что размер геологической модели многократно превышал размер синтетических также, как и количество нагнетаемых и добывающихся скважин, количество которых равнялось 300 штук по сравнению с максимальным количеством равным 70 штук в синтетических моделях.

Также следует иметь ввиду различные свойства пористости и проницаемости моделей и распределение фаций, полученных вариограммным распределением в реальной модели. Результат сравнения полученных КИН и закаченных поровых объемов можно увидеть на (Рисунок 3.7). Отмечена хорошая корреляция с моделью меандрирующих рек ( $R^2=0.885$ ).

Несмотря на то, что модель месторождения была спроектирована как дельта флювиального типа, она представляет собой наилучшие свойства этой обстановки осадконакопления, а именно устьевые и прибрежные баровые тела. Синтетическая же модель месторождения включает в себя распределительные каналы, площадь которых сравнительно больше устьевых баров.

Таким образом, модель отражает наименьшую неоднородность системы, что и явилось причиной повышенного КИН.

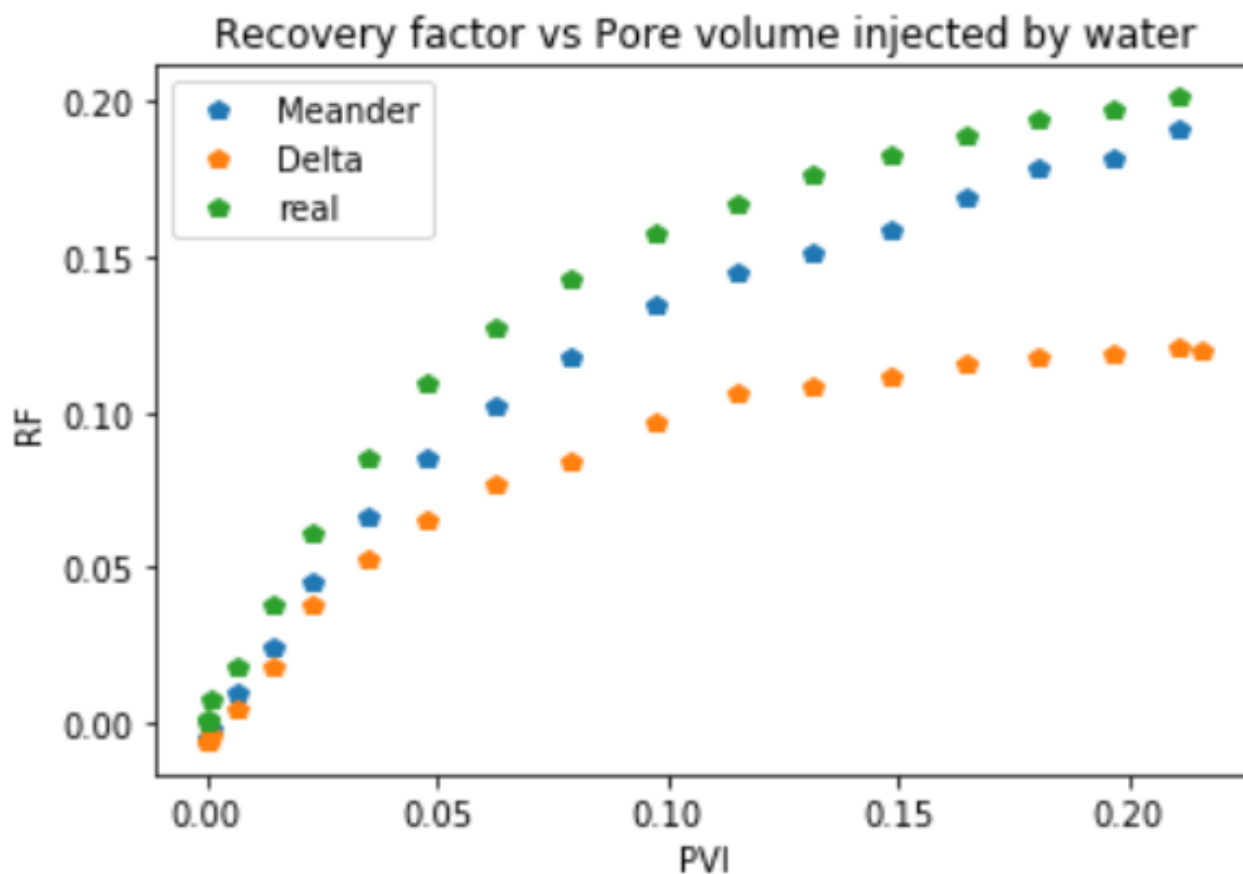


Рисунок 3.7 – Сравнение зависимостей КИН от закаченной воды в реальном случае и на синтетических моделях

На графиках представлены взаимоотношения чисел Бетти друг с другом и с Эйлеровой характеристикой (Рисунок 3.8, Рисунок 3.9, Рисунок 3.10, Рисунок 3.11).

Как можно заметить, значение, полученное из данных модели месторождения Крапивинское, не пересекается ни с одним облаком чисел, несмотря на то, что оно принадлежит дельтовой обстановке осадконакопления.

Причиной этого, как было сказано ранее, может послужить относительная однородность модели Крапивинского месторождения, а также различные методы распределения фаций (синтетические модели были построены объектным моделированием, в то время как модель месторождения была построена при помощи «sequential indicator simulation»)

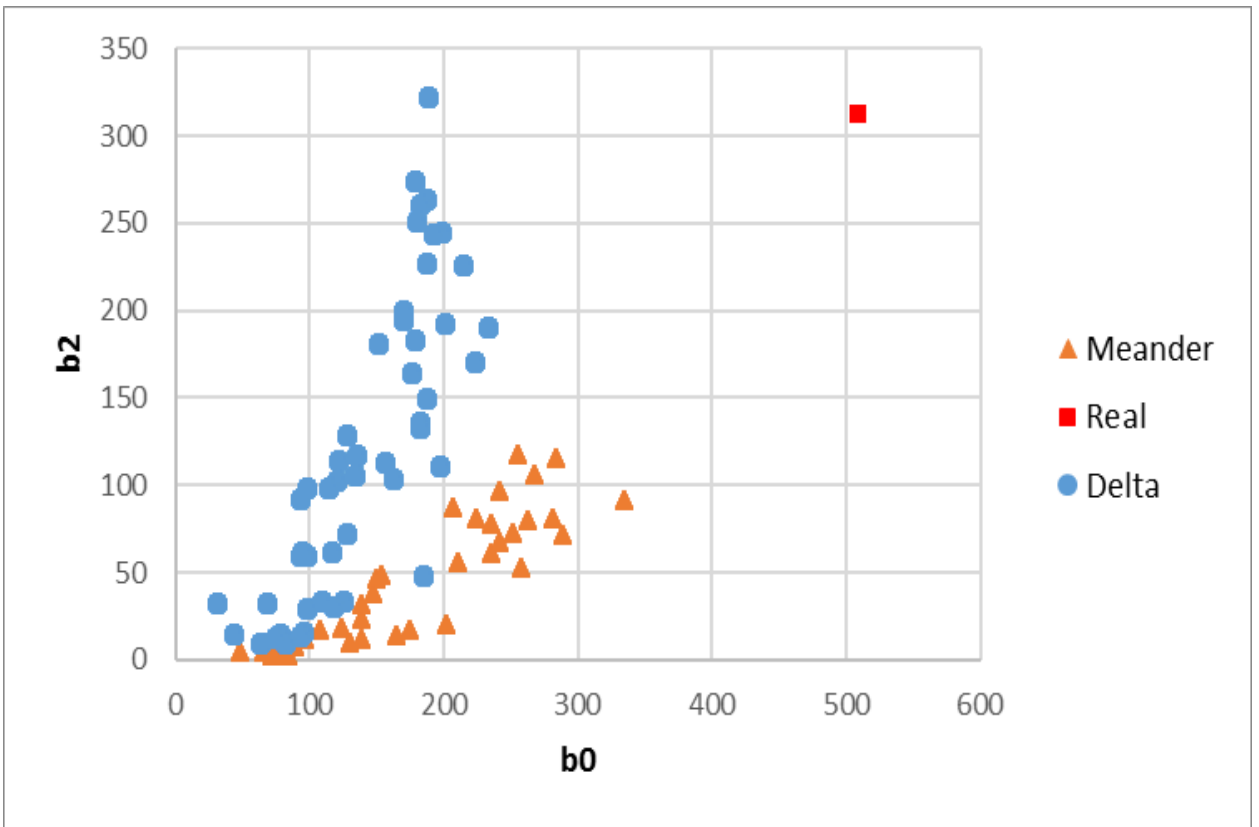


Рисунок 3.8 – Зависимость числа  $b_0$  и  $b_2$ . Красным цветом обозначены данные геологической модели Крапивинского месторождения

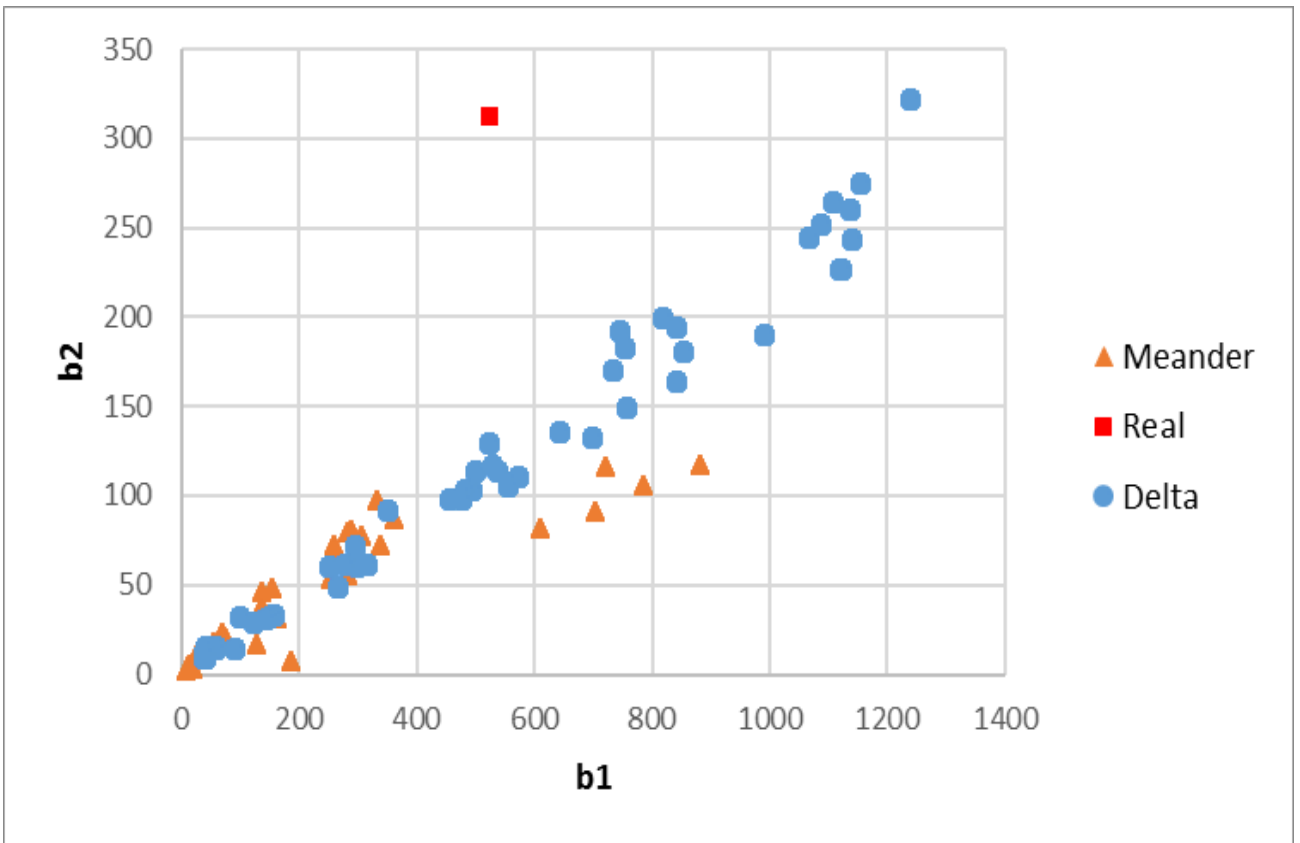


Рисунок 3.9 – Зависимость числа  $b_1$  и  $b_2$

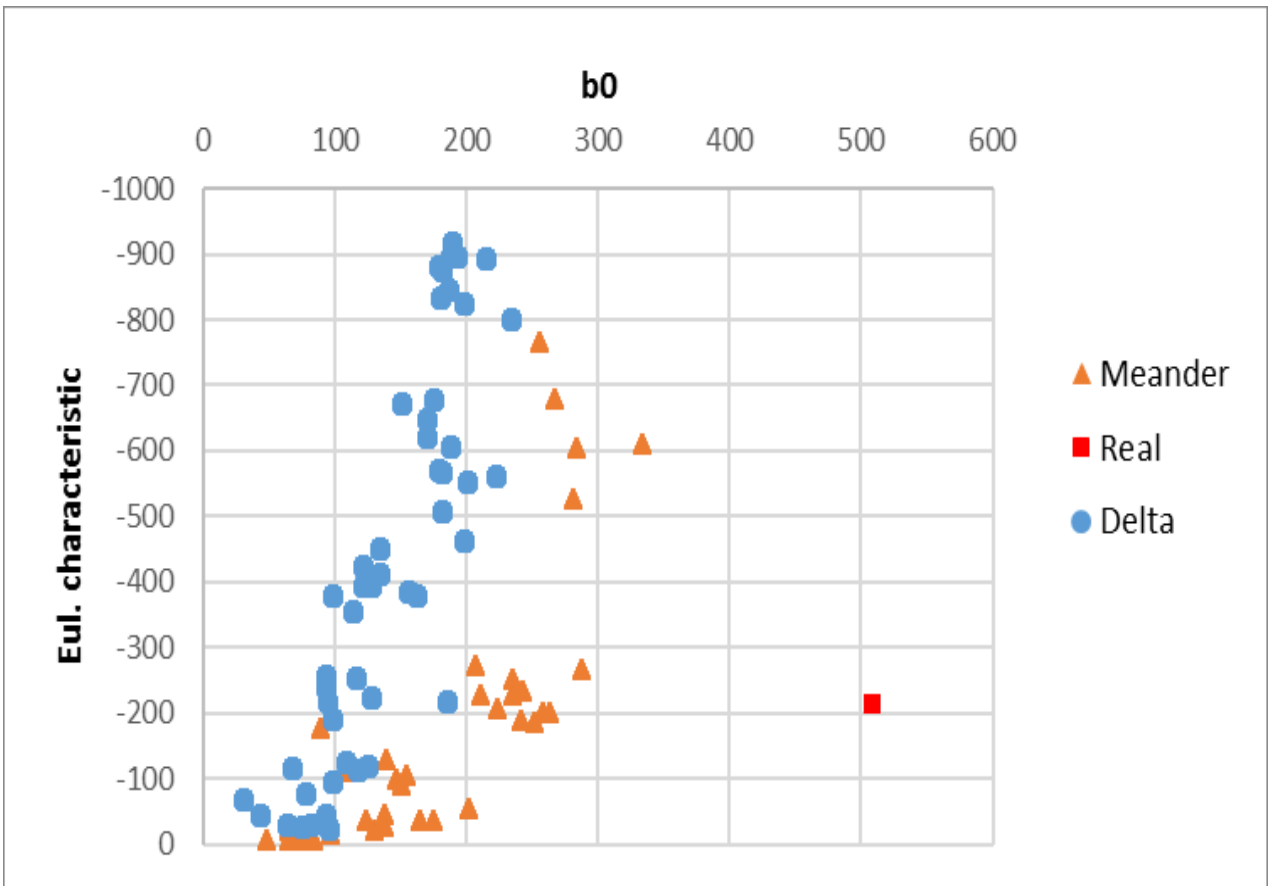


Рисунок 3.10 – Зависимость числа  $b_0$  и Эйлеровой характеристики

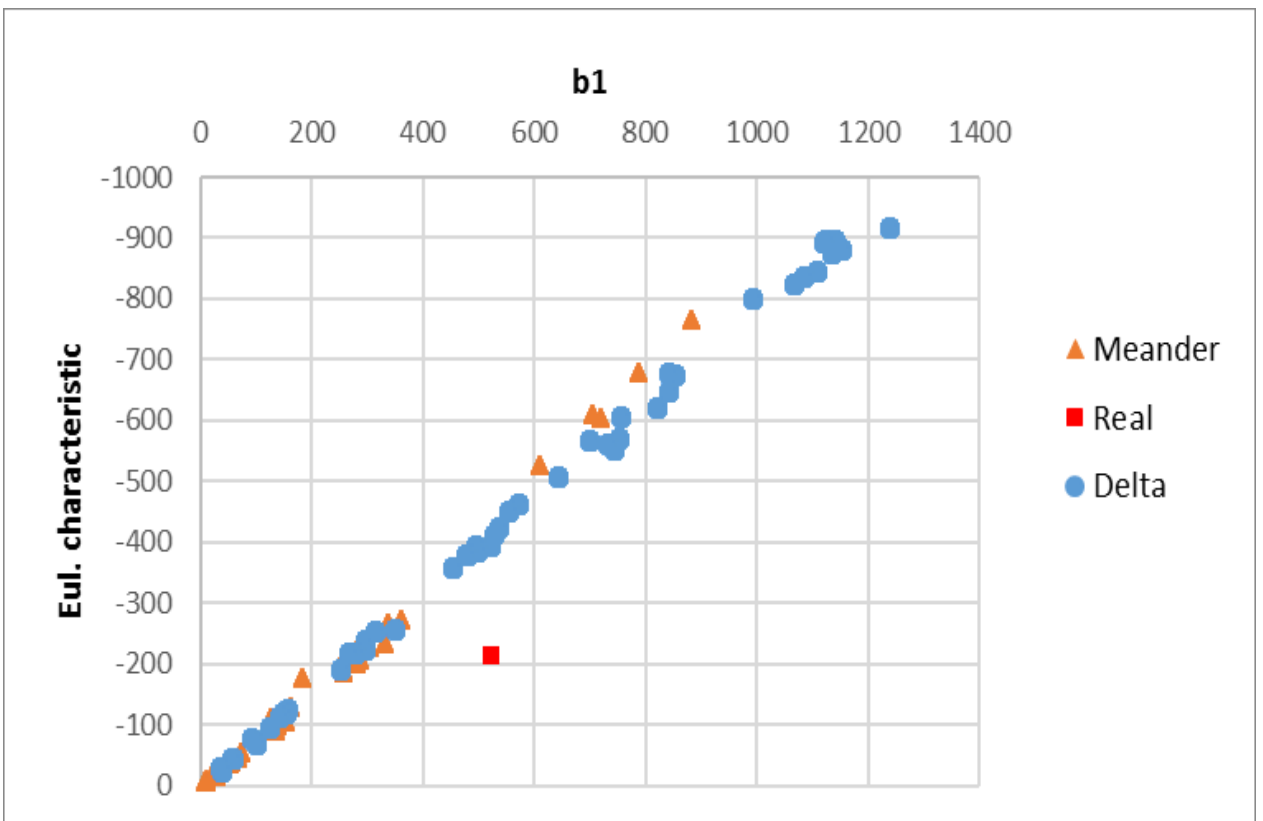


Рисунок 3.11 – Зависимость числа  $b_1$  и Эйлеровой характеристики

## 4. ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

В настоящее время рентабельность проекта зависит от финансовой выгоды исследования. Экономическая ценность открытия является основной целью деятельности разработчика. В данном разделе рассматривается анализ перспективности применения исследования. Данная работа была проведена с целью получения прогностической модели способной предсказывать эксплуатационные характеристики пластов. Анализ себестоимости полученного программного кода и основные финансовые расчеты представлены в данной главе квалификационной работы.

### 4.1. Анализ преимуществ реализации проекта

Целевым рынком для программы автоматического определения эксплуатационных характеристик является рынок программного обеспечения для обработки гидродинамических данных. В работе подразумевается использование градиентного бустинга, для решения задачи определения КИН в зависимости от закаченного водой порового объема. Данное программное обеспечение является наиболее быстрым для задач такого направления, что является преимуществом относительно других. Возможные варианты задачи подсчета эксплуатационных характеристик представлены (Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Варианты решения задачи получения эксплуатационных характеристик

Критерий оценки	Варианты решения задач		
	Метод материального баланса	Гидродинамические программные комплексы	Программный комплекс с учетом топологии
Скорость	высокий	низкий	высокий
Точность	низкий	высокий	высокий
Физичность	низкий	средний	высокий

В выше представленном анализе вариантов решения задачи (см. Таблица 4.1), применение метода градиентного бустинга показал наилучшие результаты. Нельзя не отметить что при таком варианте решения достигается комплексное понимание обстановки седиментации, что должно привести к уменьшению ошибки предсказания на промысловых данных.

Компании-операторы и проектные институты могут быть заинтересованы в данной работе и быть потребителями.

## **4.2. Управление научно-техническим проектом**

### **4.2.1 План проекта**

Глубокий анализ и жесткое планирование занятости требуется для реализации данного продукта. Главнейшей целью данного этапа можно назвать правильную организацию трудового процесса, которая повлечет за собой увеличение творческого и рабочего потенциала. План проекта представляет собой полный перечень выполненных работ (Таблица 4.2). Научный руководитель (НР) и магистр-выпускник (ВМ) выступили исполнителями данного проекта.



Таблица 4.2 – Хронологический план проекта

Код работы	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников
1	Составление задания работы	4	27.06.19	01.07.18	НР
2	Подбор и изучение материалов	12	01.07.19	13.07.19	МВ
3	Календарное планирование работ	2	13.07.19	15.07.19	НР, МВ
4	Изучение основ программирования	14	15.07.19	29.07.19	МВ
5	Изучение и анализ применяемых методов машинного обучения	7	29.07.19	01.08.19	МВ
6	Обсуждение проанализированной информации	1	01.08.19	02.08.19	НР, МВ
7	Создание синтетических моделей	4	02.08.19	06.08.19	НР, МВ
8	Гидродинамический расчет и анализ результатов	3	06.08.19	9.08.19	МВ
9	Тестирование методов машинного обучения	1	10.08.19	10.08.19	НР, МВ
10	Тестирование на модели реального месторождения	3	10.08.19	13.08.19	МВ
11	Выполнение задания по разделу “Финансовый менеджмент”	2	13.08.19	15.08.19	МВ
12	Выполнение задания по разделу “Социальная ответственность”	2	15.08.19	17.08.19	НР, МВ
<b>Итого</b>		<b>55</b>	<b>27.06.19</b>	<b>17.08.19</b>	

## 4.2.2 Определение сложности выполнения задания

Трудовые затраты являются основной частью стоимости программного продукта, поэтому сложность проекта имела размерность «человеко-дни», выражалась в трудоемкости и вычислялась при помощи экспертной оценки по формуле (4.1):

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5}, \quad (4.1)$$

где  $t_{ож\ i}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, измеряемая в человеко-днях;  $t_{min\ i}$  и  $t_{max\ i}$  – минимально и максимально возможная трудоемкость работ выполнения  $i$ -ой работы соответственно, человеко-дни.

Продолжительность работы вычислялась исходя из ожидаемой сложности работы, при учете того, что некоторые работы могли быть выполнены несколькими исполнителями, по формуле (4.2).

$$t_{раб\ i} = \frac{t_{ож\ i} \cdot K_{д}}{K_{вн}}, \quad (4.2)$$

где  $K_{вн}$  – коэффициент выполнения работ ( $K_{вн} = 1,1$ );

$K_{д}$  – коэффициент согласования работ ( $K_{д} = 1,2$ ).

Для удобства расчета графика выполнения работ и их длительности необходимо перевод из рабочих дней в календарные дни:

$$T_{кд\ i} = t_{раб\ i} \cdot T_{к}, \quad (4.3)$$

где  $T_{кд\ i}$  и  $t_{раб\ i}$  – время выполнения  $i$ -ой работы, соответственно, в днях и в рабочих днях;

$T_{к}$  – календарный коэффициент, который может быть подсчитан по формуле:

$$T_{\text{К}} = \frac{T_{\text{КАЛ}}}{T_{\text{КАЛ}} - T_{\text{ВД}} - T_{\text{ПД}}}, \quad (4.4)$$

где  $T_{\text{КАЛ}}$  – календарные дни ( $T_{\text{КАЛ}} = 365$ );  $T_{\text{ВД}}$  – выходные дни;  $T_{\text{ПД}}$  – праздничные дни ( $T_{\text{ВД}} + T_{\text{ПД}} = 118$ ). Соответственно, календарный коэффициент для данной работы в 2019 году вычисляется по формуле (4.5):

$$T_{\text{К}} = \frac{365}{365 - 118} \approx 1,478. \quad (4.5)$$

Полученные значения для каждого вида работ были округлены до целого числа. Расчетные хронологические показатели, полученные для выполнения выпускной квалификационной работы, представлены в Таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Трудозатраты выпускной квалификационной работы

Наименование работ	Исполнители	Продолжительность работ в днях, дн.						Длительность работ в рабочих днях, раб. дн.		Длительность работ в календарных днях, дн.	
		$t_{min i}$		$t_{max i}$		$t_{ож i}$		$t_{раб i}$		$T_{кд i}$	
	В М	НР	ВМ	НР	ВМ	НР	ВМ	НР	ВМ	НР	
Составление и утверждение ТЗ	НР		4		5		4.4		4.8		7.1
Подбор и изучение материалов	ВМ	12		13		12.4		13.5		20	
Календарное планирование работ	НР, ВМ	1	1	1	2	1	1.4	1.1	1.5	1.6	2.3
Изучение основ программирования	ВМ	14		20		16.4		17.9		26.4	
Изучение и анализ методов классификации	ВМ	7		10		8.2		8.9		13.2	
Предварительное обсуждение результатов работ. Анализ вариантов оптимизации проекта	ВМ, НР	0,5	0,5	1	1	0.7	0.7	0.8	0.8	1.1	1.1
Анализ применения нейронной сети для решения мелкомасштабной задачи	ВМ, НР	2	2	4	3	2.8	2.4	3.1	2.6	4.5	3.9
Реализация двух анализируемых задач в программном ПО	ВМ	4		6		4.8		5.2		7.7	
Тестирование и обсуждение работы	ВМ, НР	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.7	0.5	0.8	0.8	1.1
Выполнение раздела финансовый менеджмент	ВМ	12		15		13.2		14.4		21.3	
Выполнение раздела социальной ответственность	ВМ	2		4		2.8		3.1		4.5	
Анализ выполненной работы и оформление диссертации	ВМ, НР	1	1	2	2	1.4	1.4	1.5	1.5	2.3	2.3
<b>Итого:</b>						<b>64.2</b>	<b>11</b>	<b>70</b>	<b>12</b>	<b>103.5</b>	<b>17.7</b>

### 4.2.3 Затраты исследования

Бюджет создания проекта – суммированная цена ресурсов, потраченных на проект. Ниже представлены основные пункты, составляющие затраты данного исследования:

1. заработная плата работников;
2. налоги и отчисления в фонд;
3. учет амортизации;
4. материальные затраты на создание проекта;
5. иные затраты.

#### 4.2.3.1 Зарплата работников

Для подсчета заработной платы следует учесть основную и дополнительную составляющие. Размер дополнительной составляющей был выбран равным 15-ти процентам от основной. Притом, суммирование основной составляющей проводилась с учетом трудоемкости выполняемой работы и вычислялась по формуле (4.6):

$$Z_{\text{осн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M \cdot T_{\text{раб}}}{F_{\text{д}}}, \text{ где} \quad (4.6)$$

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года равное 10,4;

$F_{\text{д}}$  – годовой фонд рабочего времени равный 247 рабочим дням.

$Z_{\text{м}}$  – месячный оклад работника в рублях, полученный по формуле (4.7):

$$Z_{\text{м}} = Z_{\text{б}} \cdot (k_{\text{пр}} + k_{\text{д}}) \cdot k_{\text{р}}, \text{ где} \quad (4.7)$$

$Z_{\text{б}}$  – базовый оклад работника, руб.;

$k_{\text{пр}}$  – премиальный коэффициент равный 1,15;

$k_{\text{д}}$  – коэффициент доплат и надбавок равный 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент равный 1,3.

Для корректного расчета месячный оклад магистра примем равным 15000 рублей в месяц. Суммарная заработная плата исполнителей проекта представлена в Таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Итоговые расходы на заработную плату сотрудников

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. дн.	Затраты времени, раб. дн.	Коэффициент, $1,15 \cdot (k_{пр} + k_d) \cdot k_p$	ФЗП, руб.
Научный руководитель	26300	1252.38	12	2.02	30357.69
Выпускник-магистр	15000	714.29	70	2.02	101000.61
<b>Итого:</b>					<b>131358.3</b>

#### 4.2.3.2 Количество обязательных отчислений в социальные фонды

Законодательство РФ утверждает, что фонд заработной платы работников ежемесячно удерживает денежные средства, отделяемые в социальные фонды. В Обязанности работодателя входит отчисления выплат в фонды такие как:

1. Фонд государственного социального страхования (ФГСС);
2. Пенсионный фонд РФ (ПФРФ);
3. Федеральный фонд обязательного медицинского страхования (ФФОМС).

Суммарное количество отчислений во внебюджетные фонды составляет 31,8%, которые могут быть получены из суммы двух составляющих по формулам (4.8 и 4.9):

$$\text{НР: } Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0.318 \cdot 30357,69 = 9653.75 \text{ руб.}, \quad (4.8)$$

$$\text{ВМ: } Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0.318 \cdot 101000.61 = 32118.19 \text{ руб.} \quad (4.9)$$

которые в сумме дают 42771.94 рубля.

### 4.2.3.3 Учёт подоходного налога

В соответствии с законодательством РФ с работников взимается подоходный налог, отчисляемый в бюджет РФ и ставка которого равна 13% от фонда заработной платы. Выполним расчёт подоходного налога для НР и ВМ по формулам (4.10 и 4.11):

$$\text{НР: } H_{\text{пд}} = k_{\text{под.нал}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0.13 \cdot 30357,69 = 3946.50 \text{ руб.}, \quad (4.10)$$

$$\text{ВМ: } H_{\text{пд}} = k_{\text{под.нал}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0.13 \cdot 101000.61 = 13130.08 \text{ руб.} \quad (4.11)$$

### 4.2.3.4 Учёт амортизации оборудования

В данной работе используемая техника (ПК и оргтехника) является базой амортизационных отчислений и ее стоимость указана в Таблице 4.5.

Таблица 4.5 – База амортизации

Наименование	Начальная стоимость, руб.
Персональный компьютер	60000
Оргтехника	80000

Расчет амортизационных отчислений производился по следующей формуле (4.12):

$$Z_{\text{ам}} = \frac{H_A \cdot Ц_{\text{об}} \cdot t_{\text{рф}}}{F_{\text{д}}}, \quad (4.12)$$

где  $H_A$  – норма амортизации единицы оборудования равная 20 процентов;

$Ц_{\text{об}}$  – балансовая стоимость оборудования;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования равный 560ти часам;

$t_{\text{рф}}$  – фактическое время работы оборудования;

Амортизационные отчисления:

Персональный компьютер (формула 4.13)

$$:З_{AM} = 0,2 \cdot 60000 \cdot 560 \cdot \frac{1}{2075} = 3238,55 \text{ руб.}, \quad (4.13)$$

Оргтехника (формула 4.14)

$$З_{AM} = 0,2 \cdot 80000 \cdot 560 \cdot \frac{1}{2075} = 4318,07 \text{ руб.} \quad (4.14)$$

Предполагая общее время использования оргтехники эквивалентным времени использования ПК, итоговые амортизационные отчисления равны 7656.62 рублей.

#### 4.2.3.5 Материальные затраты

В материальные затраты включают в себя отчисления связанные с процессом выполнения данной работы, и представляют собой затраты на:

1. канцелярию
2. носители информации
3. прочие расходы.

Фактические чеки о покупке материалов явились расчетными данными. Прочие расходы были взяты как 15 процентов от суммы остальных расходов. В Таблице 4.6. представлены материальные затраты данной работы.

Таблица 4.6 – Материальные отчисления на реализацию работы

Наименование	Количество	Цена, руб.	Затраты, руб.
Ручка шариковая	2	120	240
Упаковка бумаги А4	1	350	350
Карандаш НВ	2	25	50
Накопители данных	1	750	750
Прочие			210
<b>Итого:</b>			<b>1600</b>



#### 4.2.3.6 Итоговые затрат проекта

Цена проекта формируется из выше представленных отчислений - заработной платы, материальных затрат, учет амортизации и отчислений в фонды. Итоговый расчет бюджета реализации исследования по изучению зависимости эксплуатационных и пространственных характеристик пластов приведен в (Таблица 4.7).

Таблица 4.7 – Итоговые затраты проекта

№	Наименование статьи	Сумма, руб.	В % к итогу
1	Материальные затраты	1600,00	0,7
2	Амортизационные отчисления	7556,62	3,4
3	Затраты по заработной плате исполнителей темы	131358.30	58,6
4	Отчисления во внебюджетные фонды	41771.94	37,3
	<b>Бюджет проекта</b>	<b>224058.8</b>	<b>100,00</b>

#### 4.2.4 Учёт рисков проекта

Риск проекта – стечения обстоятельств, которые могут привести к невозможности выполнения работы. В общих чертах, риски делятся на известные и неизвестные. Прогнозируемые риски, влияние которых нужно учесть еще до начала работы над проектом, называются известными. Примером известных рисков может служить влияние цены на нефть, а также на спрос на программные продукты по получению эксплуатационных параметров пластов. При реализации риска, проект должен подстраиваться под обстоятельства и далее действовать ранее просчитанному плану.

С другой стороны, есть риски, которые имеют совершенно спонтанный характер возникновения, так называемые неизвестные риски. Для защиты от таких рисков создаются резервные ресурсы, которые могут сгладить сложившуюся угрозу. В Таблице 4.8 представлены основные неизвестные риски. В таблице представлены вероятность и влияние того или иного риска на проект.

Таблица 4.8 – Риски проекта

№	Риск	Воздействие	Вероятность	Влияние	Способы смягчения	Условия наступления
1	Снижение спроса на программное обеспечение	Снижение дохода	4	4	Снижение цены на программный продукт, поиск финансирования на других рынках	Снижение цены на нефть
2	Возникновение конкуренции	Снижение спроса на данный программный продукт	3	5	Доработка программы, реклама	Использование конкурентом лучшей технологии
3	Обесценивание национальной валюты	Потеря прибыли	2	3	Произведение операций в выгодной валюте	Мировой кризис, падение цены на нефть
4	Банкротство банка где был открыт счет	Возникновение долга	3	2	Счета в нескольких банках с хорошей репутацией	Долги, неспособность получения больших кредитов

### 4.3 Эффективность проделанной работы

Определение эффективности проделанной работы состоит в сумме интегрального показателя эффективности, который рассчитывается исходя из финансового и ресурсного критерия эффективности.

Интегральный показатель финансовый эффективности работы может быть получен из сравнения нескольких методов расчета поставленной задачи. Так при применении гидродинамического программного комплекса специалист гидродинамик должен вручную обработать большой массив полученных программным пакетом данных, для получения эксплуатационных характеристик. В дополнение к этому расчет гидродинамики модели может длиться в зависимости от ее объема от нескольких часов до нескольких дней. Имея ввиду перечисленные выше затраты, такие как зарплата специалиста и

амортизация оборудования, стоимость подсчета эксплуатационных характеристик обойдется в сумму порядка 1500 рублей. С применением данной работы аналогичное получение данных займет у специалиста порядка 5 минут. В случае последнего, цена обработки составит порядка 25 рублей.

Формула (4.15) интегрального финансового показателя, отражающая финансовую эффективность проекта, следующая:

$$I_{\text{фин}} = \frac{\Phi_p^i}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.15)$$

где  $I_{\text{фин}}$  – интегральный финансовый показатель;

$\Phi_p^i$  – стоимость выполнения исследуемой работы;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость выполнения работы.

Таким образом по формуле (4.16):

$$I_{\text{фин}} = \frac{18}{1350} = 0,014 \quad (4.16)$$

Свидетельствует о том, что затраты на получение эксплуатационных характеристик пластов могут снизиться на 98,6 процента.

Для подсчета эффективности проекта нужно также ввести интегральный показатель ресурсной эффективности:

$$I_{pi} = \sum_1^n a_i * b_i \quad (4.17)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсной эффективности проекта для  $i$ -го варианта выполнения работы;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го выполнения работы;

$b_i$  – экспертная оценка  $i$ -го выполнения работы по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число сравниваемых параметров.

Произведенный расчет интегрального показателя ресурсной эффективности приведен в Таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Сравнительная таблица вариантов вычисления задачи

Критерий	Весовой коэффициент	Гидродинамический симулятор	Использование градиентного бустинга
Скорость выполнения	0,25	1	5
Точность выполнения	0,25	4	5
Верность корреляции	0,25	4	5
Возможность внесения изменений	0,05	5	5
Наглядность полученных результатов	0,05	5	5
Удобство использования результатов	0,05	5	5
Возможность добавления новых данных	0,1	5	5
<b>Интегральный показатель</b>		4	4,75

Показатель эффективности вариантов подсчета работы вычисляется через взаимоотношение интегрального показателя ресурсоэффективности  $I_{pi}$  и интегрального финансового показателя  $I_{фин}$  по формуле (4.18):

$$I_{испi} = \frac{I_{pi}}{I_{фин}} \quad (4.18)$$

В то же время, сравнительная эффективность работы оценивается при помощи следующей формулы (4.19), результаты которой можно увидеть в Таблица 4.10.:

$$Э_{ср} = \frac{I_{исп1}}{I_{исп2}} \quad (4.19)$$

Таблица 4.10 – Сравнительная таблица эффективности работы

№	Применяемые показатели	Гидродинамический симулятор	Использование метода машинного обучения
1	Интегральный финансовый показатель	1	0,0136
2	Интегральный показатель ресурсной эффективности	4	4,75
3	Интегральный показатель эффективности	4	365,4
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	0,1	112,4

Исходя из полученных данных можно заключить, что получение эксплуатационных характеристик через топологические характеристики с использованием градиентного бустинга имеет ресурсное и финансовое преимущество.

## **5. Социальная ответственность**

Социальная ответственность предприятия – это действия, предпринимаемые во благо общества и направленные на социальные потребности работников, лежащие в основе благоприятной трудовой деятельности.

Целью данной работы является оценка эксплуатационных характеристик пласта посредством вычисления расчетов, проведенных при помощи компьютерных технологий.

Выполнение данной исследовательской работы связано с цифровым моделированием, которое подразумевает длительное взаимодействие с ПЭВМ посредством следующих действий: использование и реализация программных продуктов, создание отчетов и поиск информации в сети.

Вредность работ определяется факторами, воздействующими на человека при нарушении требований безопасности, и может привести к производственным травмам, заболеваниям, присущим сфере работ, которые к тому же могут быть обнаружены как в процессе деятельности рабочего, так и в последующие сроки его жизнедеятельности.

### **5.1. Анализ вредных факторов**

В работе изучены опасные воздействия при работе с ПЭВМ, приведены нормативы, содержащие организационные и технические мероприятия, направленные на защиту пользователя от таких воздействий [14, 15, 16, 17, 18, 19].

Таким образом, основными опасными физическими воздействиями на пользователя ПЭВМ являются:

- Шум на рабочем месте;
- Освещение рабочей зоны (среди которых нехватка естественного света, недоосвещенность рабочей зоны и повышенная яркость света);
- Микроклимат рабочей зоны (среди которых увеличенная или заниженная влажность, подвижность и температура воздуха рабочей зоны);

- Ионизирующие излучения;
- Электробезопасность (среди которых увеличенное значение напряжения в электрической цепи и/или уровень статического электричества);
- Психофизиологические факторы

Перечисленные выше, а также вопросы экологии и пожарной безопасности рассмотрены в данном разделе выпускной квалификационной работы.

### **5.1.1. Шум на рабочем месте**

Основополагающими документами, определяющими систематизацию шумов, допустимые возможные уровни шума на рабочих местах и общие требования к защите от шума, являются [20] и [21].

Из-за того, что данная выпускная квалификационная работа предполагает выполнение задания в помещении с использованием ПЭВМ, основными инициаторами шума могут быть сами компьютеры, принтеры, трансформаторы, плоттеры, множительная техника и оборудование для кондиционирования воздуха вентиляторы систем охлаждения [22] регламентирует степень шума для различных категорий рабочих мест с частотой от 63 до 8000 Гц. Нормируемый эквивалентный уровень звука в децибелах является параметром для постоянного шума. Обозначаться знаками безопасности должны, согласно требованию указанного ГОСТа, зоны с повышенным уровнем шума (более 80 децибел). Работающие люди в таких зонах должны быть снабжены предметами индивидуальной защиты. Разработка бесшумной техники, применение предметов и методов коллективной и индивидуальной защиты и строительно-акустические методы должны обеспечить защиту от шума в соответствии с [20]. Индивидуальная защита от шума представляет собой противозумные вкладыши, а также возможность сокращать время пребывания в рабочих условиях чрезмерного шума в то время как коллективная защита от шума заключается в снижении шума в источнике и применении звукоизоляции.

### 5.1.2. Освещенность рабочей зоны

Одним из самых важных факторов, влияющих на условия труда, является освещенность рабочего места. По своему спектру наиболее приемлемо естественное освещение, но в связи с режимом работы и другими факторами его может быть недостаточно. В офисах применяется общее и комбинированное освещение [23] регулирует нормы освещенности рабочих мест и остальных помещений (Таблица 5.1). Все работы должны быть разделены по разрядам и подразрядам зрительных работ, которым присущи определенные характеристики и нормы освещенности

Таблица 5.1 – Нормы СНиП для освещенности рабочих мест и помещений.

Вид помещения	Норма освещенности согласно СНиП, Лк
Офис общего назначения с использованием компьютеров	200-300
Офис большой площади со свободной планировкой	400
Офис, в котором осуществляются чертежные работы	500
Зал для конференций	200
Эскалаторы, лестницы	50-100
Холл, коридор	50-75
Архив	75
Кладовая	50

Недостаточная и высокая освещенность может привести к физической усталости организма.



### 5.1.3. Микроклимат

Понятие микроклимата производственных помещений включает в себя метеорологические условия помещения, определяющиеся действующими на организм человека характеристиками окружающей среды, а именно: температура, влажность, скорость движения воздуха и тепловое излучение [19].

Сочетания характеристик микроклимата должны поддерживать оптимальное тепловое состояние организма и обеспечивать сохранение теплового баланса между человеком и окружающей средой [16] включает в себя основные нормативные требования, применяемые к показателям микроклимата (Таблица 5.2). Эти нормы созданы на основе исследований теплообмена и теплопереноса, воздействующих на тепловое состояние человека, находящегося в микроклиматических камерах, которые создавали условия производственных помещений. Также [16] содержит результаты исследований как клинических, так и санитарно-эпидемиологических.

В холодный период времени года обязательным является соблюдение оптимальных климатических условий посредством средств защиты от охлаждения от окон, в теплый период следует применять средства защиты от попадания прямых солнечных лучей. Необходимым также является содержание помещения в чистоте, проведение ежедневных влажных уборок и проветриваний помещения.

Таблица 5.2 – Оптимальные характеристики микроклимата

Период года	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	опт.	доп.	опт.	доп.	опт.	доп.
Холодный	21 – 23	22 – 24	30 – 50	65	не более 0,2	не более 0,2
Теплый	22 – 24	23 – 27	30 – 50	60	не более 0,2	не более 0,2

#### **5.1.4. Ионизирующие излучения**

Ионизирующие излучения — это типы лучистой энергии, проходящие через определенные среды и производящие в них ионизацию.

Жидкокристаллические мониторы в настоящее время производят ничтожно малое ионизирующее излучение и практически не превышает естественный уровень излучения. Но низкокачественные и/или бракованные мониторы являются превышающего допустимые нормы источниками излучения. Существующим документом [24] установлено, не допустимая потенциальная доза не должна превышать 5 мЗв/год, и также максимальная эквивалентная доза в хрусталике глаза, коже, кистях и стопах не должна превышать, соответственно, 37,5, 125 и 125 мЗв/год. Другим документом [25] устанавливается правила защиты от воздействия электрических полей с предельно допустимым уровнем напряжённости электрического поля 05 кВ/м внутри зданий. Также в [26] утверждается, что доза рентгеновского излучения при расстоянии в 5 см от экрана монитора - не больше 0,03 мкР/с, а плотность потока ультрафиолетового излучения дисплея не должна превышать 10 Вт/м<sup>2</sup>.

Негативное влияние, оказываемое излучением от монитора, можно снизить, строго соблюдая общие правила работы за ПЭВМ, применяя устройства, которые увлажняют и ионизируют воздух. Также рабочее место должно быть всегда убрано, а помещение проветриваемо. Дополнительным является выключение монитора на перерыве или в конце рабочего дня.

#### **5.1.5. Психофизиологические факторы**

Работа с ПЭВМ также связана со статическим напряжением мышц, вызванным длительным сидением в одной позе, и необходимостью постоянно наблюдать за информацией на мониторе, которое приводит к напряжению в мышцах шеи, ухудшению мозгового кровообращения).

Это может также привести к ощущению головной боли, резь в глазах, зуд кожи лица, а продолжительное влияние таких факторов со временем приводит к мигрени, потере зрения, сколиозу, кожным воспалениям. В итоге не только снижается трудоспособность людей, но и подрывается здоровье. Грамотно организованное рабочее место поможет избежать подобные явления, которое было предложено в [17] (Рисунок 5.1).

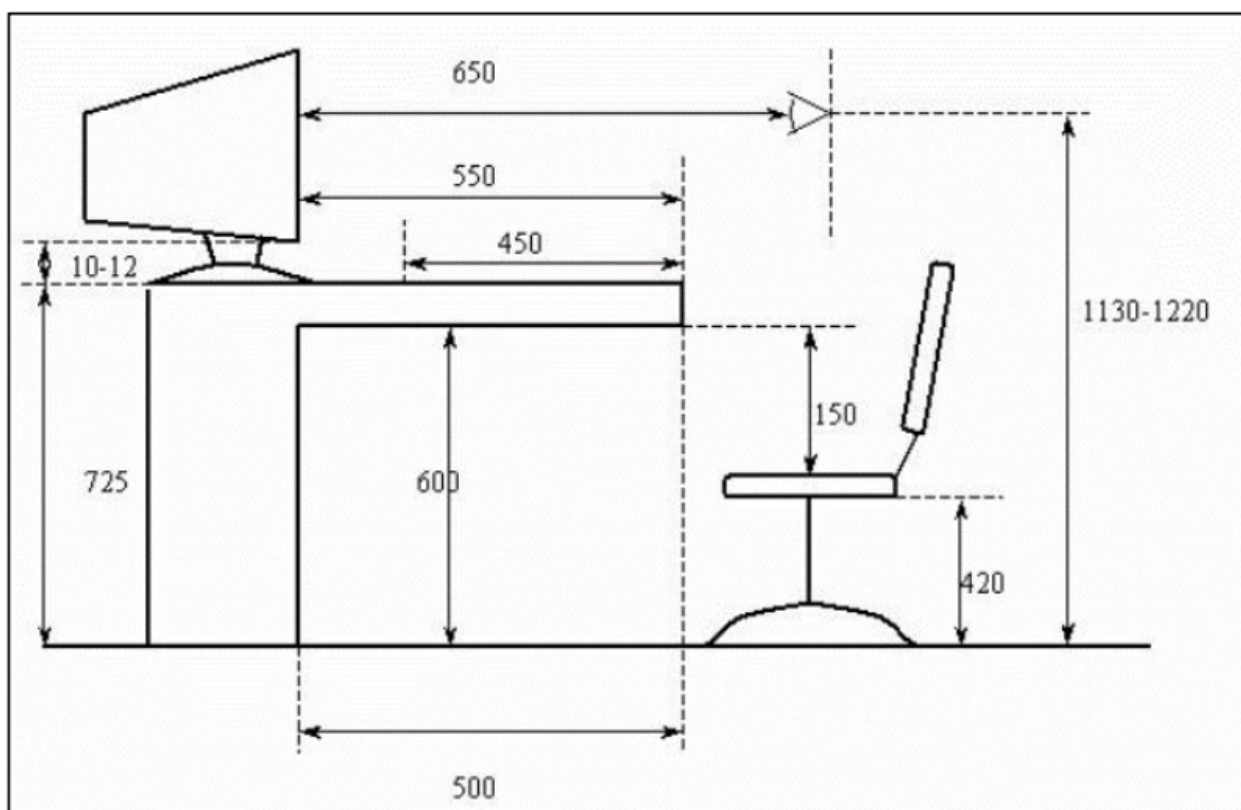


Рисунок 5.1 – Требования СанПиН для рабочего места

Также следует иметь в виду, рабочее место должно быть организовано так, чтобы естественный свет падал преимущественно слева сбоку, а рабочие столы должны стоять на расстоянии не менее 2,0 м. Следует иметь в виду что ноги должны быть согнуты под прямым углом, чтобы поддерживать правильную осанку, также дополнительным является предусмотренные подставки для ног с регулировкой угла наклона. Эти и другие нормы минимизируют воздействие перенапряжения и усталости, направленные на организм человека.

## **5.2. График рабочей смены**

Для снижения негативного воздействия электронной техники на человека был создан документ [17], который регламентирует правильный распорядок дня рабочего. В него включены промежутки отдыха в рабочее время, нужные для восстановления сил трудящегося. Таким образом при рабочей смене в 8 часов необходим перерыв в течении 70-ти минут, в то время как при 12 часов работы необходим перерыв в 120 минут. Продолжительность работы не должна превышать 2-х часов, а перерывы следует делать продолжительностью по 20 минут через каждый час работы.

## **5.3. Опасность поражения электрическим током**

Требования безопасности должны быть соблюдены для избегания поражения человеком электрическим током. Среди них можно выделить ежедневную проверку в правильности подключения и отсутствия оголенных проводов, поддержка рабочего места в порядке. Работнику в офисе следует убедиться, что блок питания заземлен, а оборудование подключено к сети. Всем работникам отрасли запрещается допускать попадания влаги на электрические приборы, самостоятельный ремонт, при включенном питании переключение разъемов оборудования.

Так как электрический ток обладает воздействием, которое может не только подорвать здоровье, но и привести к летальному исходу, он является одним из самых опасных факторов воздействия на человека. В связи с этим выделены виды воздействия электрическим током, среди которых термический, биологический и электролитический. Постоянные обязательные проведения инструктажей по безопасности от воздействия электричества на человека обязательно необходимы. Наиболее часто встречающимся и потому наиболее опасным при работе с компьютером является возникновение короткого замыкания (КЗ), представляющее собой соединение с разными электрическими потенциалами, не предусмотренные составом прибора. При возник-

новении КЗ резкое возрастание силы тока сопровождается высвобождением энергии, последствием этого может быть расплавление материала электронного устройства, выход его из работы, но самым опасным в этом является вероятность возникновения пожара. Для избегания подобных несчастных случаев, конструкция устройства должна предполагать заземление.

Сами электронные устройства могут быть подключены только при помощи сетевых фильтров, которые сглаживают импульсные скачки тока в сети, предотвращая короткое замыкание.

#### **5.4. Экологическая безопасность**

Охрана окружающей среды заключается в устранении отходов бытового мусора и жизнедеятельности человека. Вышедшие из эксплуатации ПЭВМ списываются и отправляются на специализированное складовое помещение, в котором после принимаются необходимые меры по утилизации техники и комплектующих.

Вышедшие из строя люминесцентные лампы представляют собой опасный источник токсичных веществ. Каждая люминесцентная лампа, кроме стекла и алюминия, содержит около 60 мг ртути. Поэтому отслужившие свой срок люминесцентные лампы, следует сдавать в специальные компании, проводящие вывоз и переработку данных отходов

#### **5.5. Пожарная безопасность**

В зависимости от назначения определяется степень огнестойкости зданий. Также учет ведётся по категориям по взрывопожарной и пожарной опасности, этажности и площади. Профилактические противопожарные мероприятия проводятся для устранения возможных причин возникновения пожара. Среди них можно выделить проведение периодических обязательных инструктажей по пожарной безопасности, отключение электропитания по окончании работ, курение в строго отведенном месте. Обязательным явля-

ется размещение не менее двух переносных огнетушителей на каждом этаже. Огнетушители должны быть расположены на местах вблизи от выходов из помещений.

## **5.6. Чрезвычайные ситуации**

Пожары в помещении представляют собой повышенную опасность, источниками которой могут быть:

- Незаземленные и/или неисправные электронные приборы, с перегретыми элементами
- Нарушение правил эксплуатации приборов

Профилактические меры снижающие угрозы жизни и шанс возникновения пожаров следующие:

- разработка планов эвакуации;
- установка устройств противопожарной защиты (средства тушения и ограничения распространения огня)
- периодические проверки исправности электронных приборов;
- первичный и повторный инструктаж персонала;
- Расклеивание плакатов и листовок, относящихся к противопожарной агитации

Знания необходимые при возникновении пожара необходимы не только для закона, но и жизненно важная. Предпринимаемые меры в случаи возникновения пожара заключается в незамедлительном сообщении в службу спасения, затем предпринимаются меры по эвакуации людей. При отсутствии угрозы жизни предпринимаются попытки тушения возгорания, однако строгое понимание средств тушения необходимо, потому как тушение электрического оборудования приводит к поражению электрически током, что усугубляет положение. Встретив пожарную бригаду, необходимо сообщить пожарным об имеющейся информации (конструкция здания, возможная причина возгорания, присутствие людей в здании).

## Заключение

На примере слишком большой доли тел в модели меандрирующих рек было показано, что числа Бетти могут служить индикатором при определении качества цифровой геологической моделей.

Исследована задача получения эксплуатационных параметров пластов посредством топологических характеристик. Расчеты при помощи чисел Бетти и при помощи порового объема резервуара дают сравнимые корреляционные значения, говорящие о благоприятной зависимости обоих параметров с КИН. Учёт обоих параметров помогает увеличить предсказательную способность модели, что в итоге позволяет получить оценку оптимального КИН наиболее быстрым способом, не прибегая к гидродинамическим расчётам, что является наиболее выгодным для предприятия в целом.

На примере модели месторождения были получены сравнимые с промысловыми данными значения КИН, что также говорит о благоприятной применимости метода.

Дальнейшие действия могут быть направлены на сбор информации, полученной с существующих месторождений. Это позволит расширить базу данных, включив множество различных обстановок осадконакопления, и приблизить прогностическую модель к промысловым результатам.

## ПРИЛОЖЕНИЕ 1

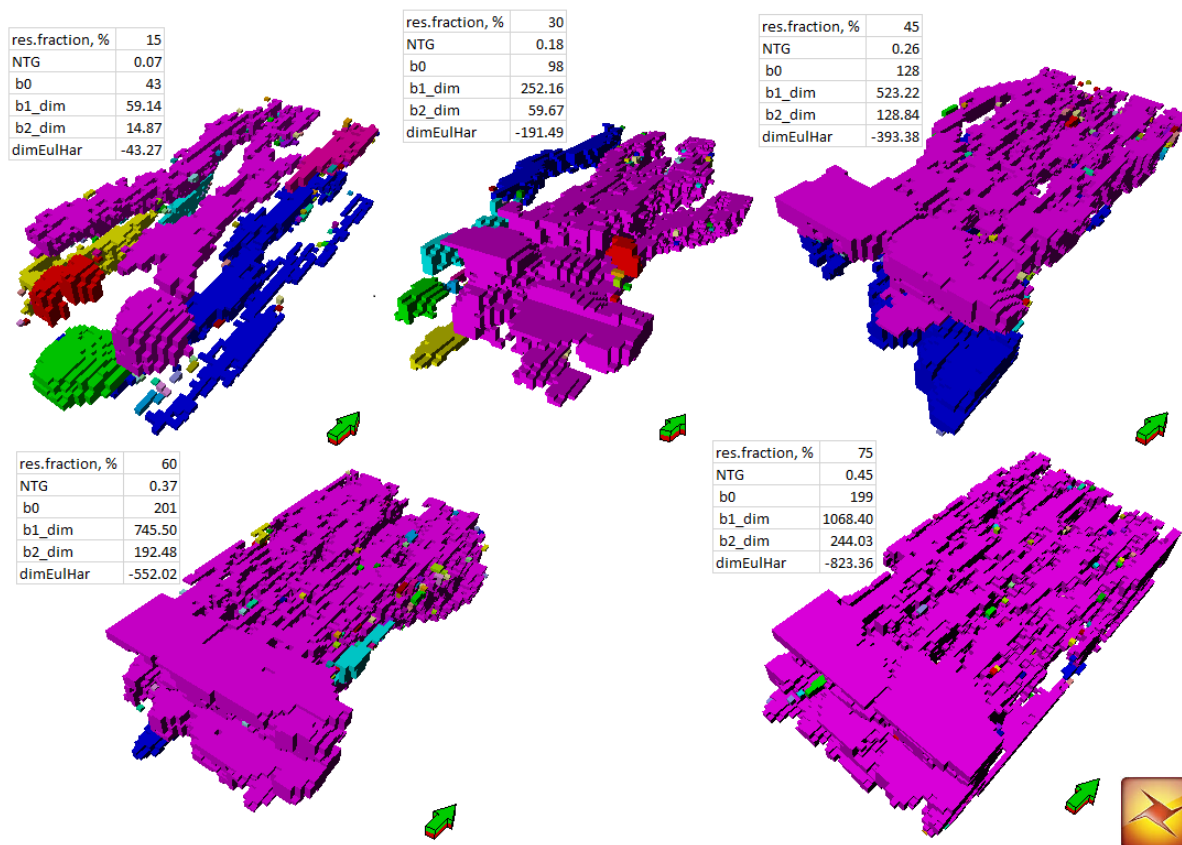


Рисунок 1 – Дельты Визуализация первого числа Бетти для моделей с долей тел в пространстве равной от 15 до 75 %

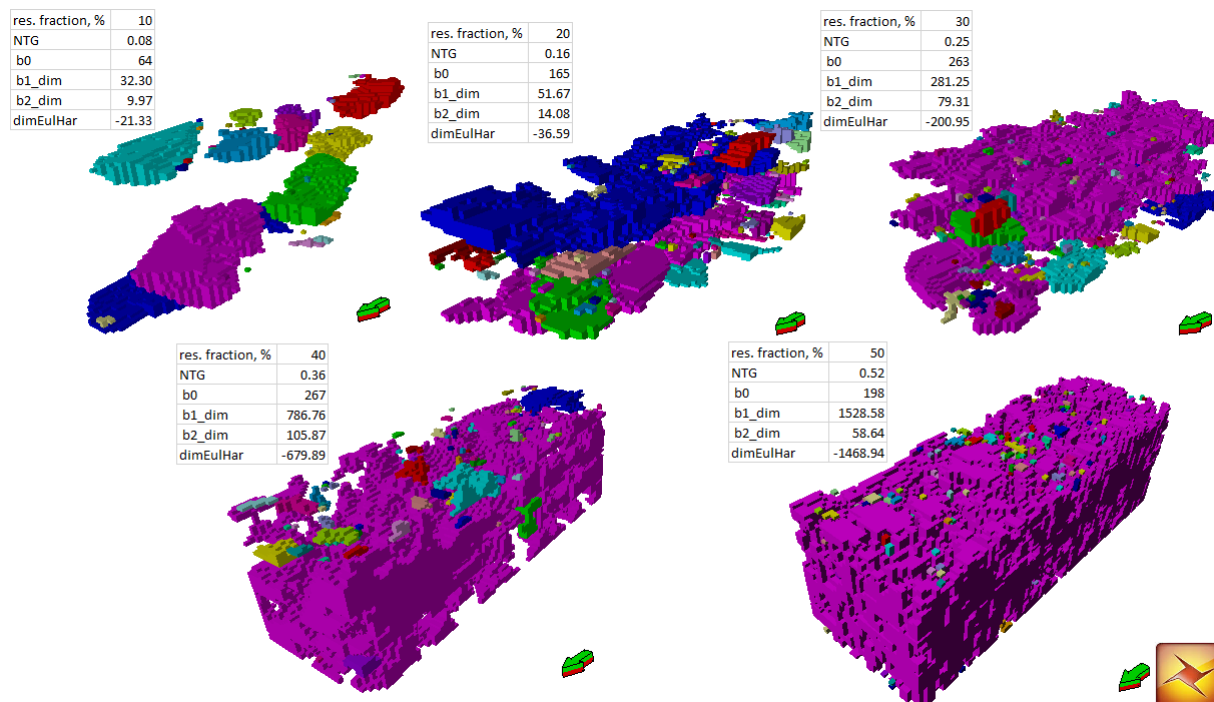


Рисунок 2 – Меандрирующие реки Визуализация первого числа Бетти для моделей с долей тел в пространстве равной от 10 до 50 %



## ПРИЛОЖЕНИЕ 2

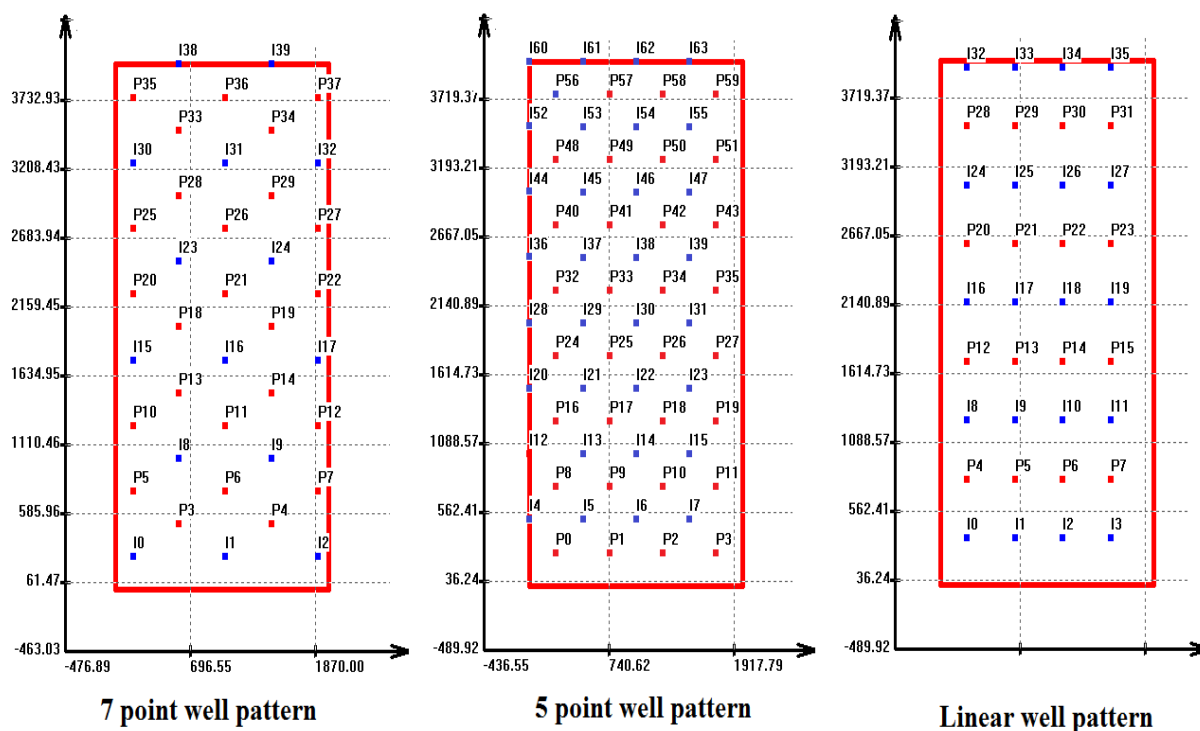


Рисунок 3 – Различные схемы расположения скважин в гидродинамических моделях дельтовых систем: 7-ми точечная (7 point well pattern), 5-ти точечная (5 point well pattern), линейная (linear well pattern)

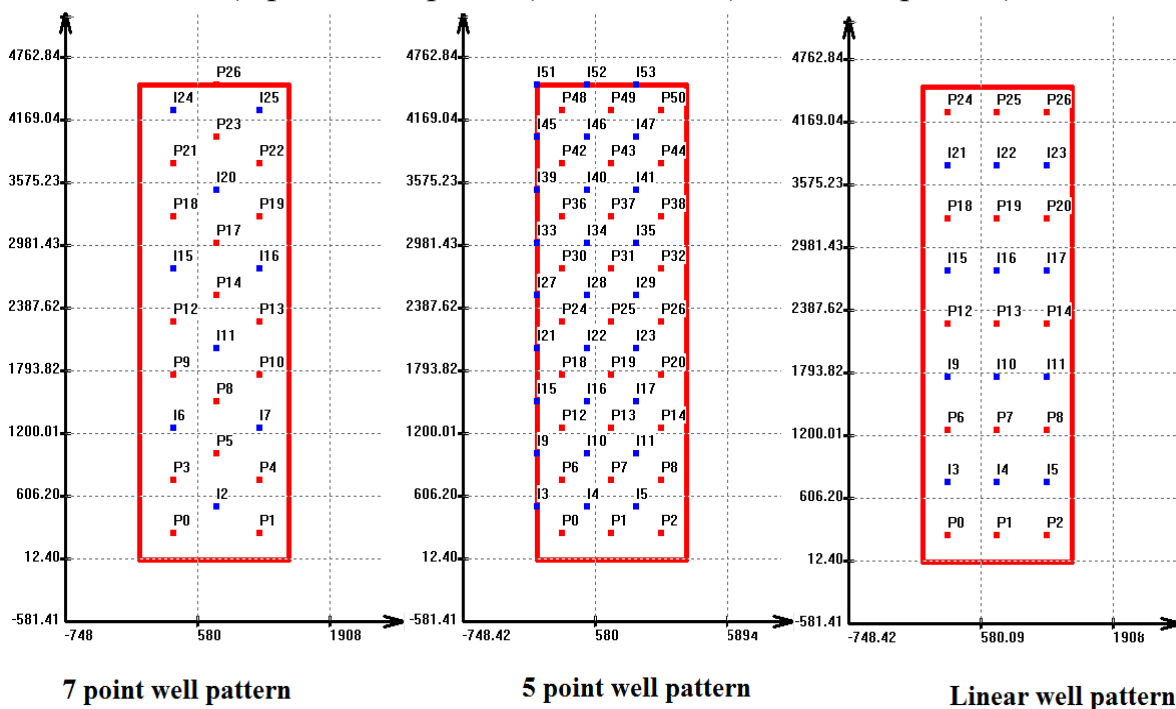


Рисунок 4 – Различные схемы расположения скважин в гидродинамических моделях меандрирующих рек: 7-ми точечная (7 point well pattern), 5-ти точечная (5 point well pattern), линейная (linear well pattern)

### ПРИЛОЖЕНИЕ 3

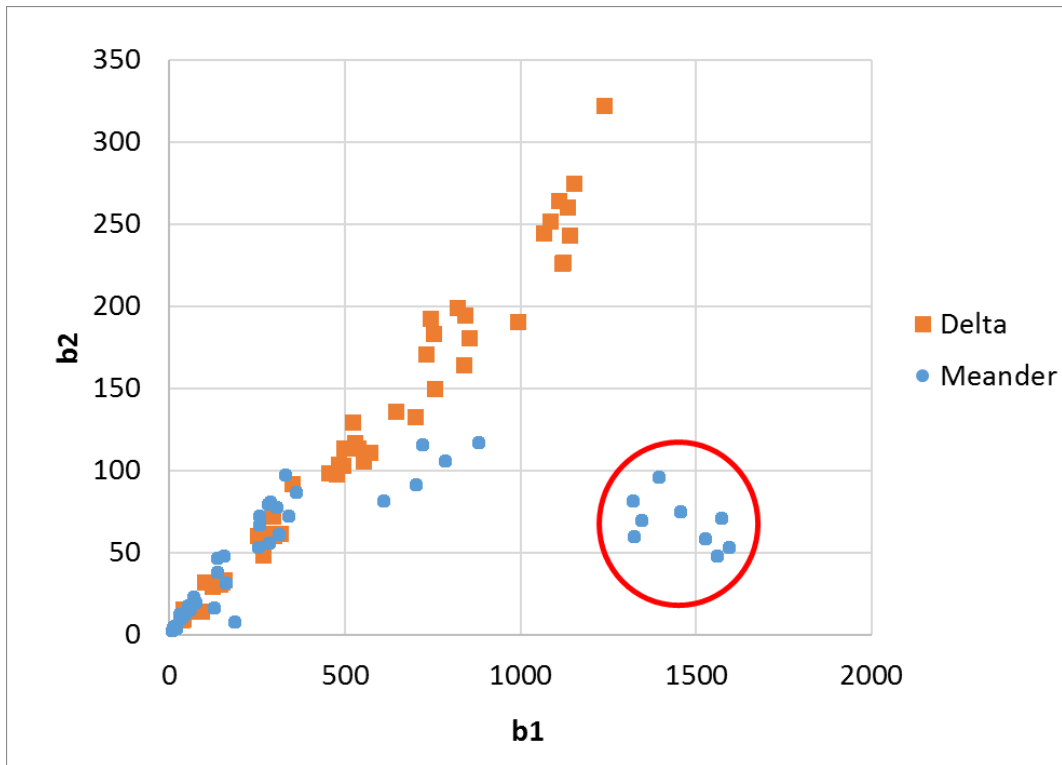


Рисунок 5 – Зависимость чисел Бетти  $b_1$  и  $b_2$  для геологических моделей мандрирующих рек (синий) и дельтовых систем (оранжевый) Красным сектором обозначены точки для доли устьевых баров в системе равной 50 процент

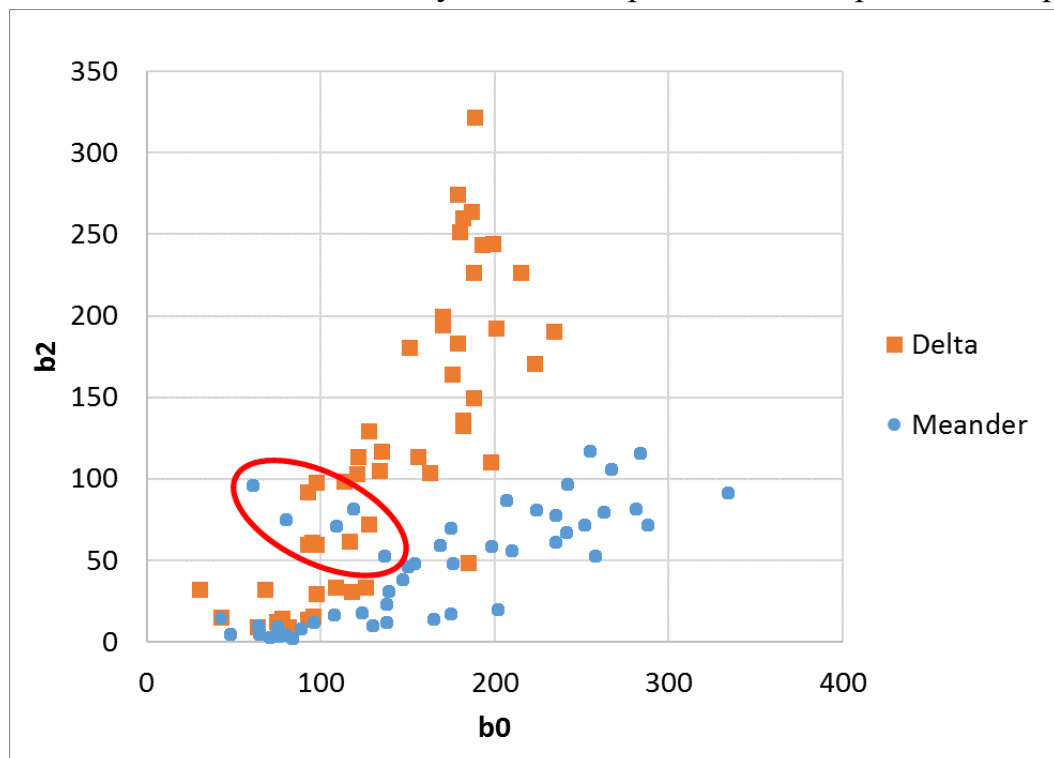


Рисунок 6 – Зависимость чисел Бетти  $b_2$  и  $b_0$  для геологических моделей мандрирующих рек (синий) и дельтовых систем (оранжевый)

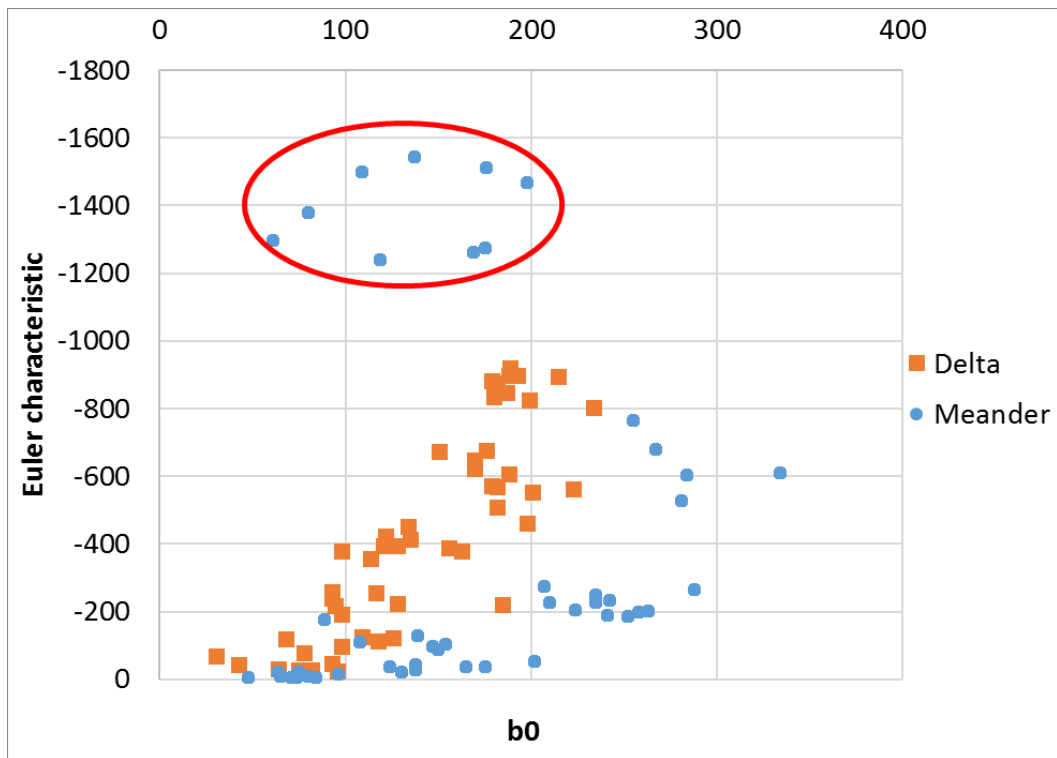


Рисунок 7 – Зависимость числа Бетти  $b_0$  и Эйлеровой характеристики для геологических моделей меандрирующих рек (синий) и дельтовых систем (оранжевый)

## ПРИЛОЖЕНИЕ 4

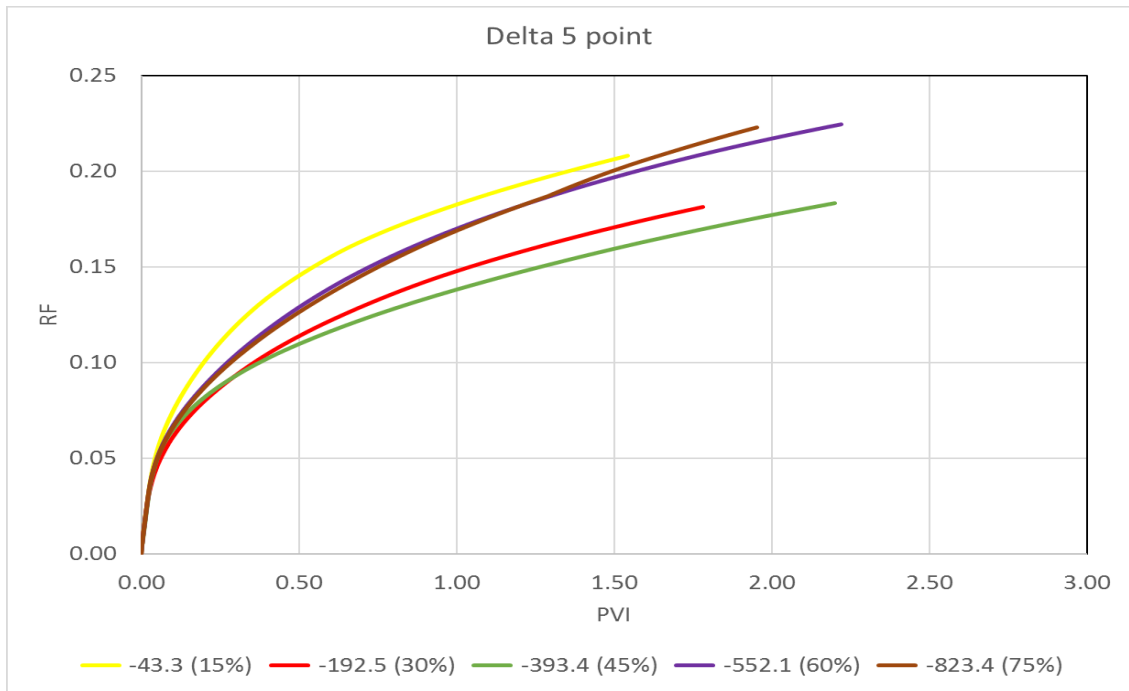


Рисунок 8 – Поведение КИН (RF) в зависимости от закаченного водой порового объема (PVI) для дельтовой системы в случае 5-ти точечного расположения скважин. Число в скобках представляет собой долю тел в модели, число перед скобками представляет собой Эйлерову характеристику модели.

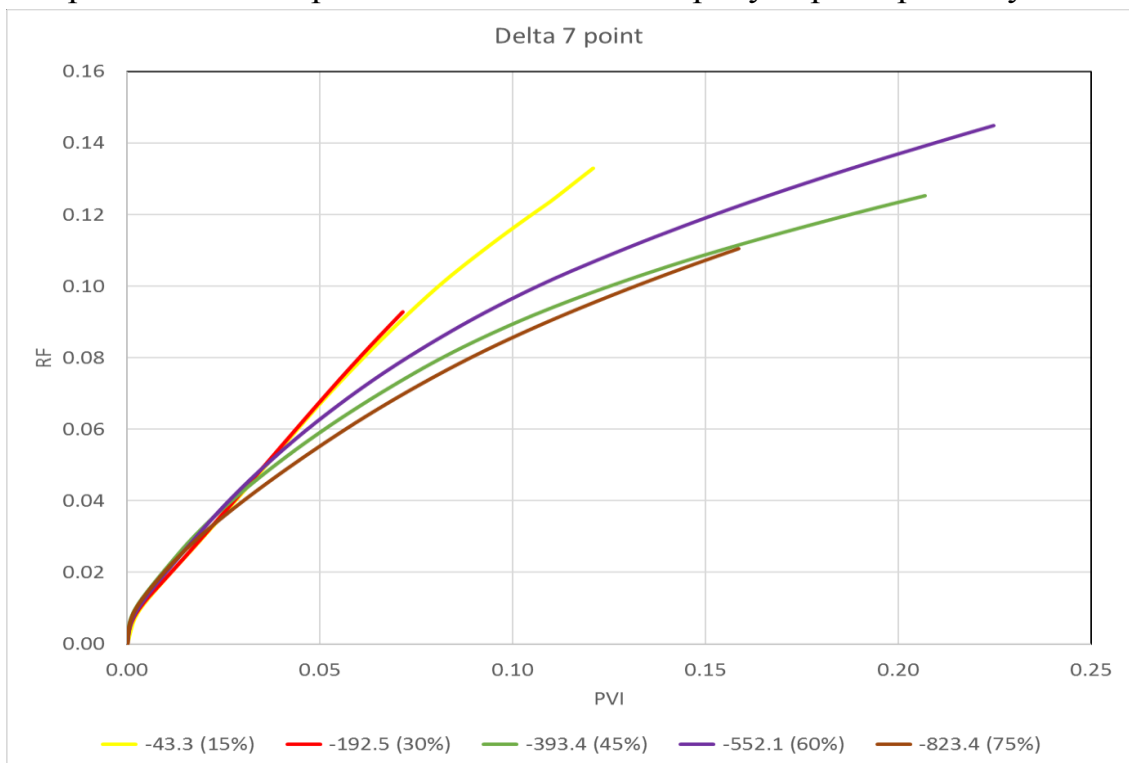


Рисунок 9 – Поведение КИН (RF) в зависимости от закаченного водой порового объема (PVI) для дельтовой системы в случае 7-ми точечного расположения скважин.

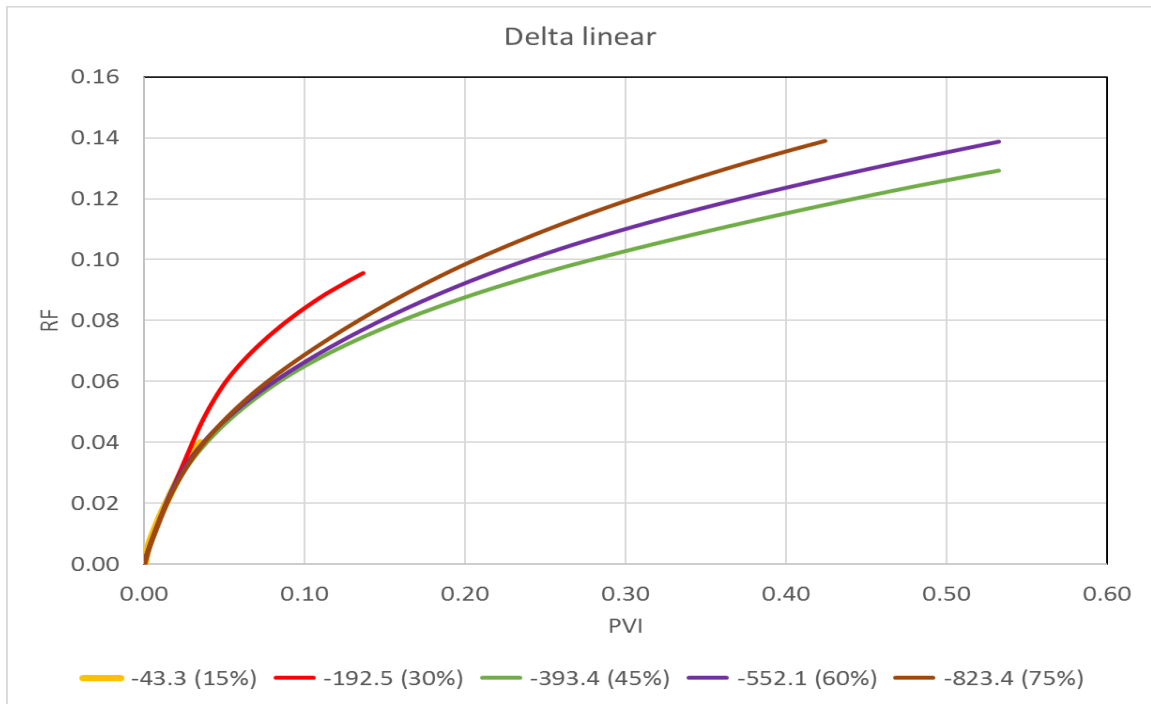


Рисунок 10 – Поведение КИН (RF) в зависимости от закаченного водой порового объёма (PVI) для дельтовой системы в случае рядного расположения скважин

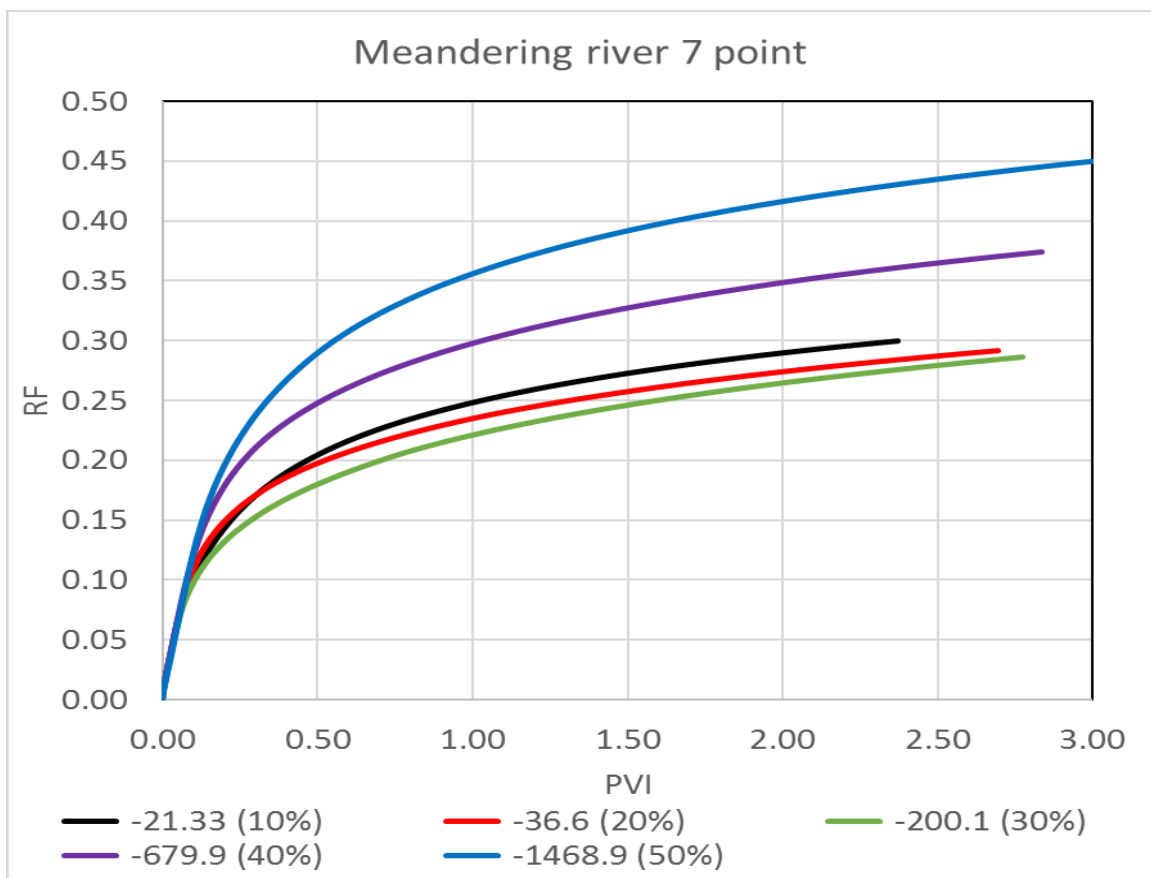


Рисунок 11 – Поведение КИН (RF) в зависимости от закаченного водой порового объёма (PVI) для системы меандрирующих рек в случае 7-ми точечного расположения скважин

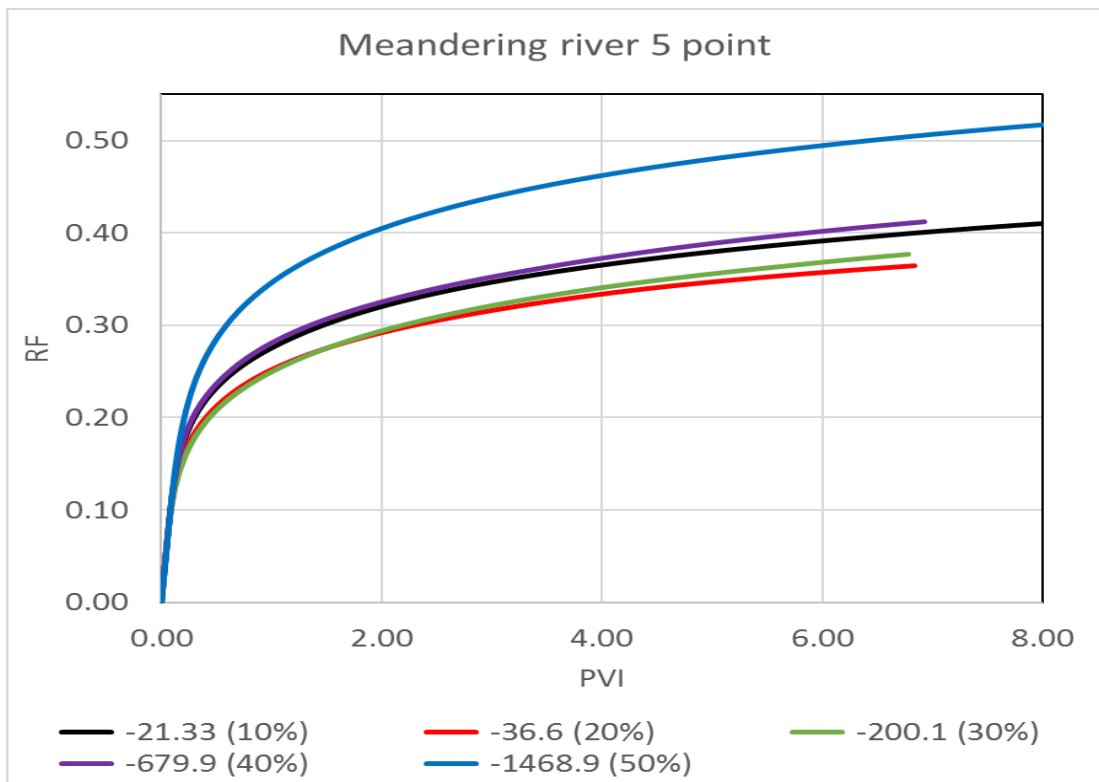


Рисунок 12 – Поведение КИН (RF) в зависимости от закаченного водой порового объема (PVI) для системы меандрирующих рек в случае 5-ти точечного расположения скважин

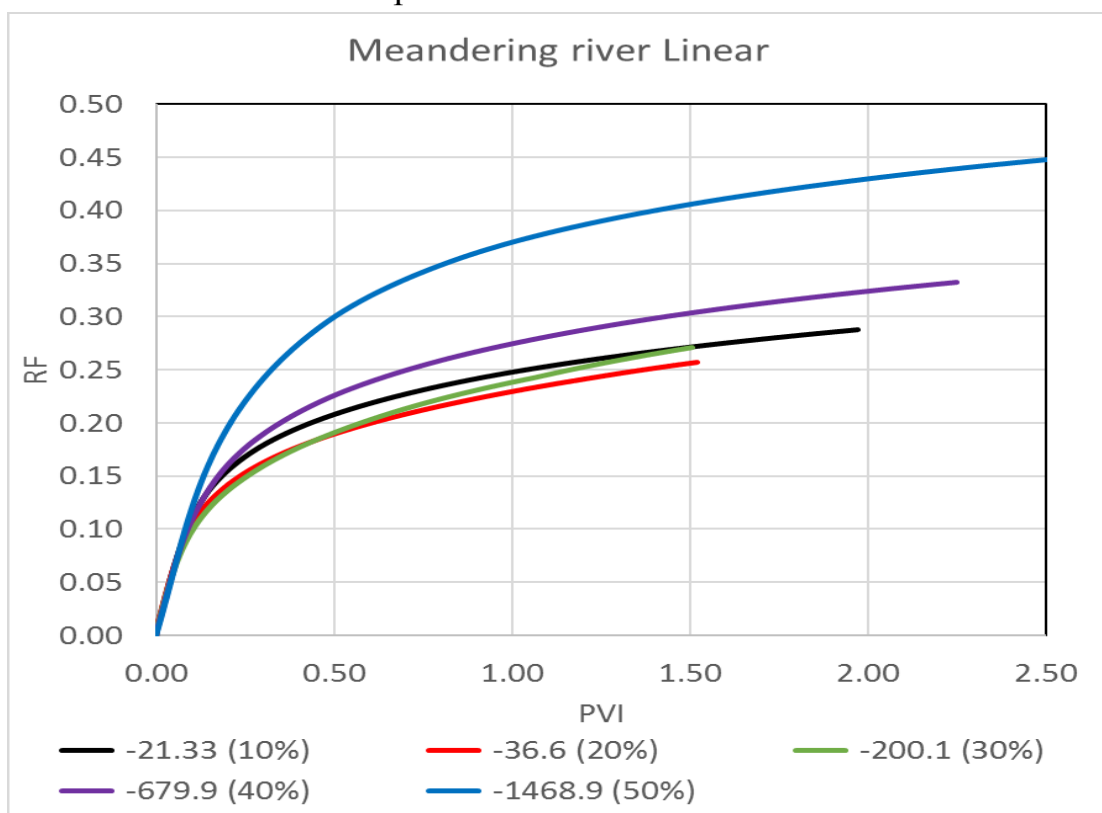


Рисунок 13 – Поведение КИН (RF) в зависимости от закаченного водой порового объема (PVI) для системы меандрирующих рек в случае рядного расположения скважин

## ПРИЛОЖЕНИЕ 5

```
In [1]: %matplotlib inline
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.metrics import r2_score
from sklearn.metrics import mean_absolute_error
import xgboost
from sklearn.model_selection import GridSearchCV

In [2]: df = pd.read_csv(r'C:\Users\bannovaa\Desktop\general_results\MEANDER_DELTA_SUM.csv' , sep=',')

In [5]: df=df.drop(['res fraction, %'], axis =1)

In [6]: Y = df['RF']

In [7]: del df['RF']

In [8]: X = df

In [9]: X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, Y, test_size=0.993)

In [10]: y_test = Y[54725:55338]
X_test = X[54725:55338]

In [11]: xgb=xgboost.XGBRegressor()

In [12]: xgb.get_params().keys()
Out[12]: dict_keys(['base_score', 'booster', 'colsample_bylevel', 'colsample_bytree', 'gamma', 'learning_rate', 'max_delta_s
tep', 'max_depth', 'min_child_weight', 'missing', 'n_estimators', 'n_jobs', 'nthread', 'objective', 'random_state',
'reg_alpha', 'reg_lambda', 'scale_pos_weight', 'seed', 'silent', 'subsample'])

In [13]: parameters_grid_xgb = {
'n_estimators': [100,250, 500, 750, 1000],
'learning_rate': [0.1, 0.01, 0.05],
'max_depth': [5, 10, 15, 100]
}

In [14]: grid_cv_xgb = GridSearchCV(xgb, parameters_grid_xgb, scoring='r2', cv=None)

In [15]: X_trainBetti=X_train.drop(['PV, m3'],axis=1)
X_testBetti=X_test.drop(['PV, m3'],axis=1)

In [16]: grid_cv_xgb.fit(X_trainBetti, y_train)
Out[16]: GridSearchCV(cv=None, error_score='raise',
estimator=XGBRegressor(base_score=0.5, booster='gbtree', colsample_bylevel=1,
colsample_bytree=1, gamma=0, learning_rate=0.1, max_delta_step=0,
max_depth=3, min_child_weight=1, missing=None, n_estimators=100,
n_jobs=1, nthread=None, objective='reg:linear', random_state=0,
reg_alpha=0, reg_lambda=1, scale_pos_weight=1, seed=None,
silent=True, subsample=1),
fit_params=None, iid=True, n_jobs=1,
param_grid={'n_estimators': [100, 250, 500, 750, 1000], 'learning_rate': [0.1, 0.01, 0.05], 'max_depth': [5,
10, 15, 100]},
pre_dispatch='2*n_jobs', refit=True, return_train_score='warn',
scoring='r2', verbose=0)

In [17]: print (grid_cv_xgb.best_score_)
print (grid_cv_xgb.best_params_)
0.9835547497738771
{'learning_rate': 0.05, 'max_depth': 5, 'n_estimators': 1000}

In [18]: xgb=grid_cv_xgb.best_estimator_

In [19]: predictions_Betti = xgb.predict(X_testBetti)

In [20]: r2_score(y_test,predictions_Betti)
Out[20]: 0.9875714538719123
```

Рисунок 14 – Код для предсказания эксплуатационных характеристик пласта

```

In [21]: mean_absolute_error(y_test,predictions_Betti)
Out[21]: 0.00492611031294258

In [22]: X_trainNTG=X_train.drop([' b0'],axis=1)
X_testNTG=X_test.drop([' b0'],axis=1)
X_trainNTG=X_trainNTG.drop([' b2_dim'],axis=1)
X_trainNTG=X_trainNTG.drop([' b1_dim'],axis=1)
X_trainNTG=X_trainNTG.drop(['dimEulHar'],axis=1)
X_testNTG=X_testNTG.drop([' b2_dim'],axis=1)
X_testNTG=X_testNTG.drop([' b1_dim'],axis=1)
X_testNTG=X_testNTG.drop(['dimEulHar'],axis=1)

In [23]: xgb.fit(X_trainNTG, y_train)
Out[23]: XGBRegressor(base_score=0.5, booster='gbtree', colsample_bylevel=1,
colsample_bytree=1, gamma=0, learning_rate=0.05, max_delta_step=0,
max_depth=5, min_child_weight=1, missing=None, n_estimators=1000,
n_jobs=1, nthread=None, objective='reg:linear', random_state=0,
reg_alpha=0, reg_lambda=1, scale_pos_weight=1, seed=None,
silent=True, subsample=1)

In [24]: predictions_withoutBetti = xgb.predict(X_testNTG)

In [25]: r2_score(y_test,predictions_withoutBetti)
Out[25]: 0.9867481833466203

In [26]: mean_absolute_error(y_test,predictions_withoutBetti)
Out[26]: 0.004697686382950227

In [27]: xgb.fit(X_train, y_train)
Out[27]: XGBRegressor(base_score=0.5, booster='gbtree', colsample_bylevel=1,
colsample_bytree=1, gamma=0, learning_rate=0.05, max_delta_step=0,
max_depth=5, min_child_weight=1, missing=None, n_estimators=1000,
n_jobs=1, nthread=None, objective='reg:linear', random_state=0,
reg_alpha=0, reg_lambda=1, scale_pos_weight=1, seed=None,
silent=True, subsample=1)

In [28]: predictions_BOTH = xgb.predict(X_test)

In [29]: r2_score(y_test,predictions_BOTH)
Out[29]: 0.98443228241886

In [30]: mean_absolute_error(y_test,predictions_BOTH)
Out[30]: 0.0053639022331797865

In [31]: plt.plot(X_test.FVI,y_test, 'o')
plt.plot(X_test['FVI'],predictions_Betti, 'o')
plt.plot(X_test['FVI'],predictions_withoutBetti, 'o')
plt.plot(X_test['FVI'],predictions_BOTH, 'o')
plt.title('Recovery factor vs Pore volume injected by water')
plt.xlabel('FVI')
plt.ylabel('RF')
plt.legend(['real', 'predictions_Betti', 'predictions_withoutBetti', 'predictions_BOTH'])
plt.show()
cor=plt.show()

```

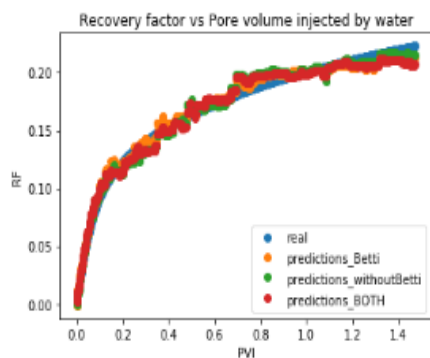


Рисунок 15 – Код для предсказания эксплуатационных характеристик пласта



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Larue, D.K. & Friedmann, F. 2005. The controversy concerning stratigraphic architecture of channelized reservoirs and recovery by waterflooding. *Petroleum Geoscience*, 11, 131–146.
2. Larue, D.K. & Hovadik, J. 2006. Connectivity of channelized reservoirs: a modeling approach. *Petroleum Geoscience*, 12, 291–308.
3. Philippe Renard, Denis Allard. 2013. Connectivity metrics for subsurface flow and transport. *Advances in Water Resources*, 51, 168–196.
4. A. D. Reynolds. 1999. Dimensions of Paralic Sandstone Bodies. *AAPG Bulletin*, V. 83, No. 2, P. 211–229
5. Martin R Gibling. 2006. WIDTH AND THICKNESS OF FLUVIAL CHANNEL BODIES AND VALLEY FILLS IN THE GEOLOGICAL RECORD: A LITERATURE COMPILATION AND CLASSIFICATION. *Journal of Sedimentary Research*, 2006, v. 76, 731–770
6. Bazaikin, YV, Taimanov, IA: On a numerical algorithm for computing topological characteristics of three-dimensional bodies *J Comput Math Math Phys (Zhurnal Vychislitel'noi Matematiki i Matematicheskoi Fiziki)* 53, 523–530 (2013) (Russian)
7. Bazaikin, YV, Baikov, VA, Taimanov, IA, Yakovlev, AA: Numerical analysis of topological characteristics of three-dimensional geological models of oil and gas fields *Math Model* 25(10), 19–31 (2013) (in Russian)
8. Rustem R Gilmanov, Alexander V Kalyuzhnyuk, Iskander A Taimanov, and Andrey A Yakovlev. 2018. *Topological Characteristics of Digital Models of Geological Core*. Published by Springer Nature Switzerland AG 2018. All Rights Reserved/ A. Holzinger et al. (Eds.): CD-MAKE 2018, LNCS 11015, pp. 273–281.
9. BRIAN J. WILLIS, HONG TANG. 2010. THREE-DIMENSIONAL CONNECTIVITY OF POINT-BAR DEPOSITS. *Journal of Sedimentary Research*, v. 80, 440–454.

10. Pyrcz, M. J. (2003) A Review of Some Fluvial Styles. Centre for computational geostatistics. [Papers2://publication/uuid/31C43A49-DE27-4EA3-A1C4-7DB93817057](https://papers2://publication/uuid/31C43A49-DE27-4EA3-A1C4-7DB93817057).
11. Baikov, V.A., Gilmanov, R.R., Taimanov, I.A., Yakovlev, A.A.: Topological characteristics of oil and gas reservoirs and their applications. In: Holzinger, A., Goebel, R., Ferri, M., Palade, V. (eds.) Towards Integrative Machine Learning and Knowledge Extraction. LNCS (LNAI), vol. 10344, pp. 182–193. Springer, Cham (2017).
12. Jason Brownlee. 2016. Machine learning mastery with python. Copyright Jason Brownlee. Edition: v1.4. P. 179.
13. ГОСТ 6825-91. Лампы люминесцентные трубчатые для общего освещения.— М.: Госстандарт СССР, 1991.—242 с.
14. СанПиН 2971-84. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты.—М.: Минздрав СССР, 1984.— 8 с.
15. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 1997. – 11 с
16. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.— М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2003.—18с.
17. Свод Правил 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности. – М.: МЧС России, 2009. – 35 с. ГОСТ 121005-88. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.— М.: Минздрав СССР, 1988. – 20 с.
18. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ "О пожарной безопасности" // СЗ РФ. 26.12.1994. N 35. Ст. 3649.

- 19.СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Санитарные нормы. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
- 20.ГОСТ Р 22.0.02-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения. – М.: Стандартиформ, 2016. – 10 с
- 21.СНиП 23-05-95. Естественное и искусственное освещение / М.: Минстрой России, 2016. – 103 с
- 22.СанПиН 2.6.1.2523-09. Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009. – М.: Информационно-издательский центр Минздрава России, 2009.–70 с.
- 23.Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Атомиздат, 1971.
- 24.ГОСТ 27016-86. Дисплеи на электронно-лучевых трубках. Общие технические условия.–М.: Госстандарт СССР, 1986.–12 с.
- 25.Белозеров В.Б. «Седиментационные модели верхнеюрских резервуаров горизонта Ю1 Западно-Сибирской нефтегазоносной провинции как основа для оптимизации систем их разведки и разработки» Новосибирск, 2008г.
- 26.Анализ разработки Крапивинского нефтяного месторождения, Томск, 2004г.
- 27.Кравченко Г.Г. Седиментологическая модель верхнеюрских продуктивных отложений Крапивинского месторождения по результатам изучения керн / Г. Г. Кравченко, Е. А. Жуковская // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. — 2010. — Т. 316, № 1: Науки о Земле. — С. 80-86

# LITERATURE REVIEW

## Geomodelling of synthetic models

In this work, the topological characteristics influence on the reservoir performance research based on three-dimensional waterflooding technology simulation with synthetic models of two depositional environments: meandering river and fluvial delta

The classification of spatial parameters of river bodies is considered [5], which is a literary data set of more than 1,500 rocks, which served for the geological modeling of meander river facies The deposits of the meandering rivers are characterized by single or layered laterally elongated reservoirs, the so-called point bars The bottom of formation is a channel coarse-grained deposit Medium fine grains with a decrease in grain size upwards usually represent the laterally extended body of the point bar [9] The top of the reservoir most often consists of clay and is represented by flood plain deposits

Channel branches of meandering rivers have a large tortuosity, but it can be replaced by straightened channel Deposits are characterized by a relatively large ratio of width to height, which is reflected in the lateral connection of individual channel segments [5]

The conceptual model of meandering rivers is presented in the article [10]

For models with delta sedimentation conditions, an article was used [4], which characterizes the sizes of mouth bars and deltoid branches These and other articles helped in the construction of synthetic geological models that take into account the main features of the sedimentation environment The main reservoirs belonging to the delta sedimentation system are distribution channels and mouth bars [4] Distribution channels have a small tortuosity index and a large amplitude They can overlap each other and, at the same time, form a heterogeneity of the system

There is a correlation between the width and height of these bodies, but it has a large error in contrast to the correlation between width and length, which

claims that the width of the distribution bars is less than half-length [4] Due to their parameters, they have areas commensurate with a small field and can be part of a large field In addition, these bodies tend to increase grain size upward compared to distribution channels, which have the opposite direction of increasing grain size

### **Heterogeneity**

Some articles [1, 2, 3,] identify several definitions of connectivity Different definitions of connectivity include dynamic connectedness characterizing the filtering process and static connectedness characterizing the connectedness of individual bodies The article [2] considers the influence of the parameters of the bodies' variogram distribution on the connectivity of a three-dimensional model, ie models with a long rank of a semivariogram have longer geological bodies than with a short rank This article also draws an analogy with the percolation threshold for connectivity through the effective fraction of the collector, which is 0.31 for a three-dimensional body This threshold depends on the model size and becomes more discharged for models with a reduced size There are also theoretical foundations [3] describing connectivity in terms of percolation and topology

The relationship between reservoir architecture and reservoir productivity is a topic that has been studied many times before Confirmation of the effect of the connectivity and continuity of bodies on the RF was found in articles [1, 2, 3], but explicit relationships between these parameters were not traced anywhere Experts in geology argue that the architecture and geometrical features of the reservoir significantly affect operational characteristics, referring to the arguments of the interconnectedness of bodies, while engineering experts are more prone to the influence of anisotropy and permeability heterogeneity [1]

## Topology

Since the analysis of heterogeneity involves the creation of a large number of models, a metric unit is required for the spatial characteristic, because simulation cannot indicate which stratigraphic features affect the RF

Algebraic topology is currently an actively developing science [3, 7, 11], which the study subject are numerical characteristics that describe the spatial heterogeneity of the structure of three-dimensional bodies

The complexity of the development object is determined by many parameters, among which are the connectedness of bodies, their spatial relationship, the number of inclusions, etc The spatial heterogeneity of the system can be described using topological invariants, the so-called Betty numbers  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$  which are the ranks of homology groups and characterize, respectively, the number of bodies connected in the model, the number of closed complexes and the number of inclusions in bodies [7]

Morse theory, which is the most common approach to calculating Betty numbers [12], deals with filtering spaces according to the cutoff criterion for some function  $f$  In the algorithm proposed [7], discrete analogues of smooth functions that have critical points at which the gradient of the function is 0 are used to find the Euler characteristic  $\chi$  The Euler characteristic is, on the one hand, an alternative sum of critical points whose indices correspond to several patterns of a specially introduced neighborhood of a point, and on the other hand, an alternative sum of Betty numbers

Obtaining a zero Betty number is carried out using the cutoff criterion, which separates bodies with collector properties from others Then the algorithm scans the space until the first cell corresponding to the collector is found After this, the cycle creates a linearly connected cell complex, in which any two cubes are connected by a sequence of cells, interconnected only along a common face This process allows the algorithm to find all the remaining bodies and sort them by the number of connected cells The second Betty number based on Alexander's duality

theorem The first number is found from the alternative sum of Betty numbers  $b_0$  and  $b_2$  and the Euler characteristic [7]

A numerical algorithm for finding topological characteristics and its implementation were provided [6]

The existence of a favorable dependence of the topology of core data obtained by x-ray tomography, and relative insight is described in articles [8]

## **Machine learning**

Currently, machine learning methods are of the greatest interest in data analysis Machine learning, being an extensive subsection of artificial intelligence, has in its arsenal methods of mathematical statistics and optimization Today, people who want to optimize routine work and spend less time doing machine learning are engaged in machine learning In addition, machine learning not only increases the speed of information processing, but also improves the accuracy of responses, revealing in the data previously unnoticed parameter relationships, which is undoubtedly the most important

In [13], how to evaluate the results by various methods of machine learning is explained It also talks about the gradient boosting method used for regression and classification problems, the main idea of which is to combine functions built by a phased process, at each step of which the model is trained using information about errors of previous models The result is a trained model that predicts a parameter from the original amount of information

In the oil and gas business, the application of machine learning methods is an innovative task The vast body of empirical knowledge and the data interpretation make machine learning a very promising and encouraging direction