

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

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

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Комплексирование методов исследования керна слабоконсолидированного коллектора Мессояхского типа в целях разработки оптимальной схемы его освоения УДК <u>622.143.1</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ81	Юркин Александр Александрович		14.08.2020

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД ИШПР	Чернова О.С.	Д.Г.-М.Н.		14.08.2020

Руководитель отделения

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД ИШПР	Мельник И.А.	Д.Г.-М.Н.		14.08.2020

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД ИШПР	Рукавишников В.С.	Ph.D		17.08.2020

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД ИШПР	Белозеров В.Б.	Д.Г.-М.Н.		17.08.2020

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

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

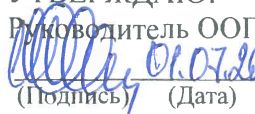
Томск – 2020 г.

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)
 Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»
 Отделение нефтегазового дела

УТВЕРЖДАЮ:

Руководитель ООП


 О.С. Чернова
 (Подпись) (Дата)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ81	Юркину Александру Александровичу

Тема работы:

Комплексирование методов исследования керна слабоконсолидированного коллектора Мессояхского типа в целях разработки оптимальной схемы его освоения	
Утверждена приказом директора ИШПР	Приказ № 204-9/с от 22.07.2020

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

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Объектом исследования данной дипломной работы являются существующие методики, технологии, и требования к отбору и проведению лабораторных исследований слабосцементированного кернового материала Мессояхского типа.
--------------------------	--

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1. Рассмотреть методы отбора кернового материала Мессояхского типа 2. Произвести оценку эффективности различных методов исследования слабо сцементированного кернового материала 3. Определить факторы, влияющие на качество и репрезентативность результатов исследований слабосцементированного керна 4. Провести расчет затрат на проведение базовых исследований кернового материала 5. Рассмотреть вопросы безопасности персонала и окружающей среды при проведении работ 6. Разработать комплекс методических рекомендаций для проведения исследований кернового материала Мессояхского типа.
---	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент	Рукавишников В.С., доцент ОНД, Ph.D
Социальная ответственность	Белозеров В.Б., профессор ОНД, д.г-м.н.

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

1. Решение существующих проблем по отбору слабосцементированного керна
2. Solution for existing problems in coring

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД ИШПР	Чернова Оксана Сергеевна	д.г-м.н		01.07.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ81	Юркин Александр Александрович		01.07.2020

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

Инженерная школа природных ресурсов (ИШПР)

Направление подготовки (специальность) 21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Уровень образования магистр

Отделение нефтегазового дела

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация

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

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

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

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
06.07.2020	Сбор литературных данных по поставленной задаче	10
14.07.2020	Проведение литературного анализа нормативно-технической документации и учебной литературы с целью систематизации информации	10
25.07.2020	Анализ полученных результатов	20
30.07.2020	Финансовый менеджмент	20
04.08.2020	Социальная ответственность	20
08.08.2020	Иностранный язык	15
12.08.2020	Заключение	5

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД ИШПР	Чернова Оксана Сергеевна	Д.Г-М.Н		01.07.2020

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД ИШПР	Чернова Оксана Сергеевна	Д.Г-М.Н		01.07.2020

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

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ81	Юркину Александру Александровичу

Инженерная школа	Отделение	
Уровень образования	Направление/ специальность	
Магистратура	21.04.01 «Нефтегазовое дело»	

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Затраты на НИТ: 1. Затраты на сырье и материалы; 2. Накладные расходы; Человеческие ресурсы: 1. Количество персонала НИТ; 2. Совокупная стоимость работы;
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	16% накладные расходы; 1,3 районный коэффициент; 12% надбавки.
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления по страховым выплатам в соответствии с Налоговым кодексом РФ Ф3-213 от 24.07.2009 в редакции от 09.03.2016г. № 55-ФЗ, а также Трудовым кодексом РФ от 21.12.2011г. Ставка налога на прибыль 20 %; Страховые взносы 27.1%; Налог на добавленную стоимость 20%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

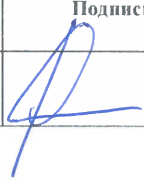
1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НИТ</i>	SWOT анализ, проведение предпроектного анализа, определение целевого рынка
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; Формирование бюджета исследовательской работы.
3. <i>Планирование процесса управления НИТ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Определение рисков и неопределенностей проекта при его реализации
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Определение ресурсной, финансовой и экономической эффективности исследования

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Матрица SWOT
2. Оценка стоимости выполнения операций
3. Оценка экономической эффективности предлагаемой методики

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОНД ИШПР	Рукавишников Валерий Сергеевич	Ph.D		01.07.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ81	Юркин Александр Александрович		01.07.2020

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
2ТМ81	Юркину Александру Александровичу

Инженерная школа	ИШПР	Отделение	ОНД
Уровень образования	Магистратура	Направление/ специальность	21.04.01 «Нефтегазовое дело»

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования)	- Буровая вышка и прилегающие к ней территории - Лабораторный комплекс и место лаборанта
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны; - ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности; - Федеральный закон от 30.03.1999 N 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения»; - ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; - ГН 2.2.5.1313-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) вредных веществ в воздухе рабочей зоны»; - СанПиН 2.2.4.548-96. Физические факторы производственной среды. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. Санитарные правила и нормы; - СП 52.13330.2016 «Естественное и искусственное освещение»;

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	- Повышенный уровень шума на рабочем месте; - Недостаточная освещенность рабочей зоны. - Монотонный режим работы и эмоциональный стресс - Отклонение показателей микроклимата в помещении
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды	- Механическое травмирование;
3. Охрана окружающей среды	- Воздействие на атмосферу: Выброс летучих УВ в атмосферу. - Воздействие на гидросферу: загрязнение грунтовых вод, рек, водоёмов большой площади - Воздействие на литосферу: земляные работы, объезды на тяжелой технике.
4. Защита в чрезвычайных ситуациях	- Возможные ЧС: взрыв или возгорание газа и паров нефтепродуктов, разрушение трубопровода механическим воздействием, природные разрушения вследствие стихийных бедствий. - Наиболее распространённый вид аварии: взрыв, сопровождающийся пожаром, возгоранием, разрушением
5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	Соблюдение требований нормативно-правовых требований и трудового кодекса Российской Федерации

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД ИШПР	Белозеров Владимир Борисович	д.г-м.н		01.07.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ81	Юркин Александр Александрович		01.07.2020

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа включает в себя 110 страниц, 25 рисунков, 31 источник и 5 приложений.

Ключевые слова: СЛАБОКОНСОЛИДИРОВАННЫЙ КОЛЛЕКТОР, ЛАБОРАТОРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КЕРНА, МЕТОДИКА РАБОТЫ С КЕРНОМ МЕССОЯХСКОГО ТИПА.

Целью работы является составление рекомендаций для повышения качества результатов лабораторных исследований слабо консолидированного керна Мессояхского типа.

Результатом исследования является методика, включающая в себя рекомендации по отбору, извлечению, транспортировке и проведению основных лабораторных исследований керна для слабосцементированного коллектора Мессояхского типа. Было определено, что существующие действующие документы, регламентирующие отбор и проведение лабораторных исследований для керна, не применимы для слабо консолидированных коллекторов. Были выявлены общие особенности отбора керна для слабосцементированных коллекторов и исходя из оценки петрофизического состава Мессояхского коллектора составлен ряд рекомендаций для него.

Областью применения является проведение лабораторных исследований керна для получения первичной геологической информации для оценки свойств коллектора месторождения и его дальнейшего моделирования.

Экономическая эффективность/значимость работы: предложенные инструменты способствуют большему выносу керна и более высокому его качеству, что требует меньшего числа разведочных скважин для получения того же объема вынесенного керна, что снижает общие затраты на разведку и снижает связанные с этим риски.

ABSTRACT

Graduate qualification work includes 110 pages, 25 figures, 31 sources and 5 appendices.

Key words: LOW-CONSOLIDATED RESERVOIR, LABORATORY CORE STUDIES, METHOD OF WORK WITH MESSOYAKHA TYPE CORE.

The aim of the work is to draw up recommendations for improving the quality of laboratory research results for a weakly consolidated core of the Messoyakha type.

The result of the study is a methodology that includes recommendations for the selection, extraction, transportation and carrying out of basic laboratory studies of core material for a poorly cemented reservoir of the Messoyakha type. It was determined that the existing documents regulating the selection and laboratory studies for core samples are not applicable for weakly consolidated reservoirs. The general features of core sampling for poorly cemented reservoirs were identified and, based on the assessment of the petrophysical composition of the Messoyakha reservoir, a number of recommendations were made for it.

The area of application is laboratory core studies to obtain primary geological information for assessing the properties of the reservoir of the field and its further modeling.

Cost-effectiveness / value of work: the proposed methodology tools contribute to greater core recovery and higher quality, which requires fewer exploration wells to obtain the same volume of core been recovered, which reduces overall exploration costs and reduces associated risks.

Сокращения и обозначения

LI – Низкое проникновение (бурового раствора в керн)

PDC – Поликристаллический алмаз

API – Американский нефтяной институт

ГСМ – горюче-смазочные материалы

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	13
1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	14
1.1 Геологическая характеристика месторождений.....	14
1.1.1 Географическое расположение	14
1.1.2 Геология и стратиграфия	14
1.1.3 Петрофизика.....	17
1.2 Существующие подходы к отбору керна.....	22
1.2.1 Основные принципы отбора керна	22
1.2.2 Документы, регламентирующие исследования керна	25
1.2.3 Причины неэффективного лабораторного анализа керна	26
2 ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ	29
2.1 Отбор образцов из целевого пласта и их транспортировка.....	29
2.1.1 Бурение слабосцементированного керна	29
2.1.2 Решение проблем при отборе слабосцементированного керна	32
2.1.3 Решение проблем при подъеме слабосцементированного керна	34
2.1.4 Решение проблем при подготовке керна к транспортировке.....	35
2.2 Работа с керном в лаборатории	40
2.2.1 Проведение приемки керна	40
2.2.2 Подготовка керна к исследованиям.....	40
2.2.2.1 Получение первичной информации о керновых образцах.....	41
2.2.2.2 Привязка керна к данным ГИС	42
2.2.2.3 Подготовка слабоконсолидированного керна к проведению исследований.....	43
2.2.2.4 Распиловка кернового материала.....	45
2.2.2.5 Выполнение отбора образцов для исследований	46
2.2.3 Проведение исследований слабоконсолидированного керна	49
2.2.3.1 Измерение насыщенности флюидами	49
2.2.3.2 Обессоливание образцов слабосцементированного керна.....	50

2.2.3.3 Сушка керновых образцов	51
2.2.3.4 Определение открытой пористости	51
2.2.3.5 Определение эффективной пористости керна	53
2.2.3.6 Определение проницаемости	56
3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ РАБОТЫ СО СЛАБОСЦЕМЕНТИРОВАННЫМ КЕРНОМ	58
4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ	62
4.1 Сегментирование рынка и основной потребитель	62
4.2 SWOT-анализ	62
4.3 Бюджет выполнения работ	63
4.4 Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности	64
4.5 Потенциальные риски	66
5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ	67
5.1 Правовые нормы обеспечения безопасности проекта	67
5.2 Производственная безопасность проекта	68
5.3 Экологическая безопасность проекта	73
5.4 Безопасность в случае чрезвычайных ситуаций	74
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	78
Приложение А	81
Приложение Б	107
Приложение В	108
Приложение Г	109
Приложение Д	110

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время широко распространено трехмерное геологическое и гидродинамическое моделирование пластов на основе первичной геологической информации. Это позволяет значительно снизить риски в ходе разработки месторождения и максимизировать экономическую эффективность проекта разработки.

Однако, в связи с повышением требований к точности 3D-моделирования, касающихся прежде всего качества исследований кернового материала и проведения геофизических исследований скважин, возникла необходимость совершенствования методов и подходов к изучению продуктивных сложнопостроенных коллекторов, которые не всегда могут быть достоверно оценены с использованием существующих стандартных методик. Примерами подобных коллекторов являются слабо консолидированные песчано-алевритовые пласты ПК₁₋₃, находящиеся в сеноманской части покурской святи. Пласты прерывисто залегают на малых глубинах с невыдержанными толщинами и имеют сложное геологическое строение с тектоническими нарушениями. Породы пластов относятся к III-IV категории по буримости и I-II группе по структурно-текстурным признакам. Это определяет породы как слабосцементированные с максимально возможным выносом керна не более 20-40 %, что значительно осложняет достоверную интерпретацию и анализ первичных геологических данных.

На основе вышесказанного целью работы является комплексирование лабораторных исследований керна слабо консолидированного коллектора Мессояхского типа, как одного из наиболее трудных для точной оценки петрофизических свойств.

Обязательным является составление методических рекомендаций к отбору, транспорту и подготовке кернового материала, который должен соответствовать минимальным требованиям качества, заданных применяемыми видами лабораторных исследований для гарантии качества результата.

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Геологическая характеристика месторождений

1.1.1 Географическое расположение

Группа Мессояхских месторождений была открыта в 1980-х годах в северной части Ямало-Ненецкого автономного округа. В настоящее время месторождения являются самыми северными из разрабатываемых на суше нефтяных месторождений России.

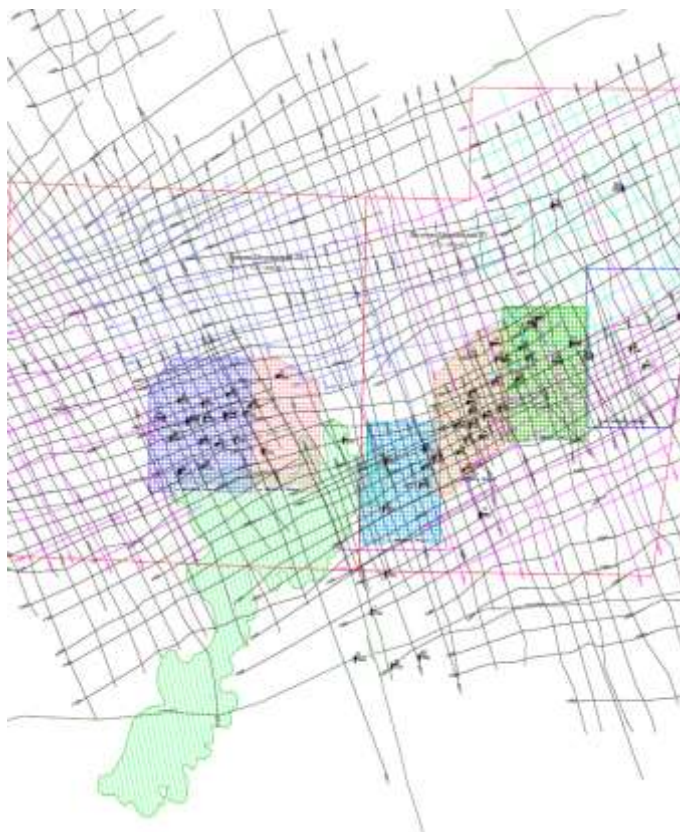


Рисунок 1.1 – Расположение рассматриваемого месторождения

Географически месторождения расположены в 340 км к северу от города Новый Уренгой в регионе с неразвитой инфраструктурой арктической климатической зоны (Рисунок 1.1).

1.1.2 Геология и стратиграфия

Продуктивный пласт, ПК₁₋₃ представлен слабоконсолидированными мелкозернистыми песчаниками и алевроитами. Пласт находится в кровельной

части сеноманского яруса покурской свиты. Мощность пласта ПК₁₋₃ 85 метров. Структура рассматриваемого пласта и его разрез представлены на Рисунках 1.2, 1.3. Вниз по разрезу пласта размер зерен увеличивается, с уменьшением глинистости и преобладанием преимущественно слабосцементированных песчаных алевролитов с прослоями глинистых алевролитов.

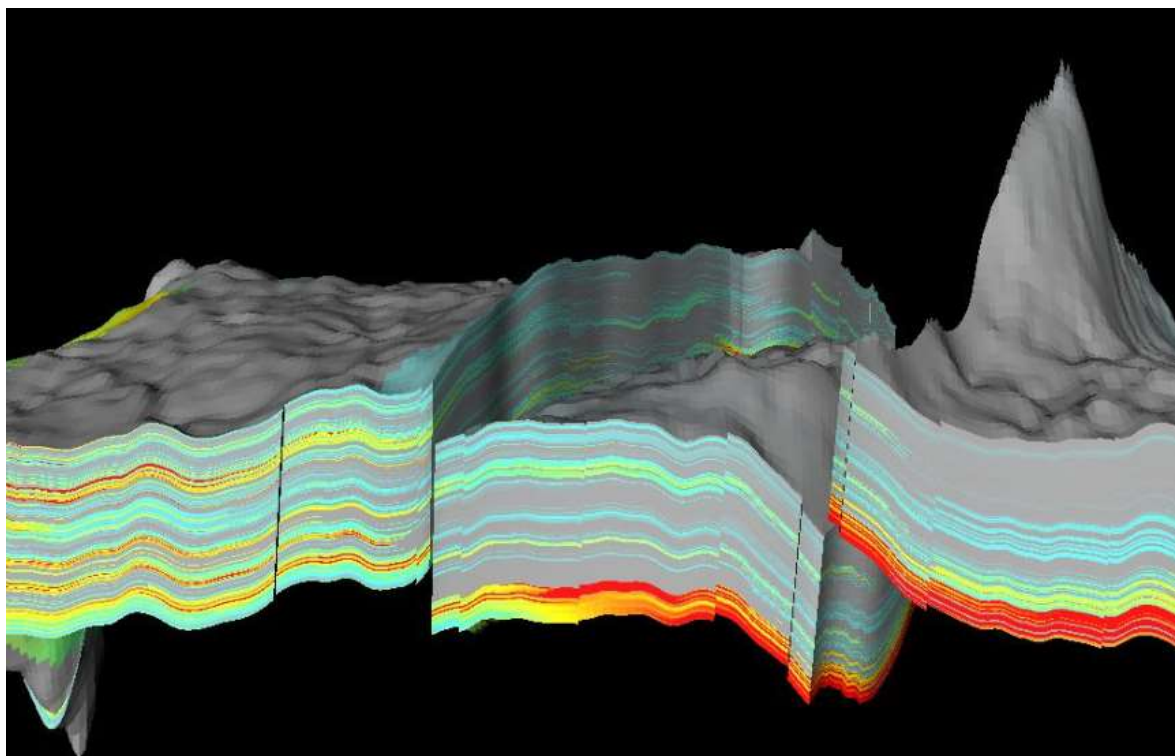


Рисунок 1.2. - 3D-модель нефтенасыщенных пластов [27].

В средней и верхней части пласта наблюдается переслаивание мелкозернистых алевроитовых песчаников с глинистыми и песчаными алевролитами, а также тонкими прослоями угля. Породы слабосцементированы.

Текстура пород преимущественно крупная косая, волнистая и горизонтальная. Также присутствует комбинированная рябь течения и волнения, порой нарушаемая ходами ихнофаций *Skolithos* и *Cruziana*. Присутствуют включения из углефицированного растительного детрита и на отдельных участках наблюдается конволютная слоистость с текстурами оползания, что свидетельствует о процессах конседиментации.

В песчано-алевритовых породах присутствуют включения углефицированных корней и растительного детрита, а также встречаются остатки раковин пресноводных пелеципод. Нефтенасыщенные отложения Сенomanского возраста сложены мелкозернистые песчаники с алевролитами и крупнозернистые алевролиты. В породах наблюдается частое изменение гранулометрического состава, что говорит об их неоднородности [2].

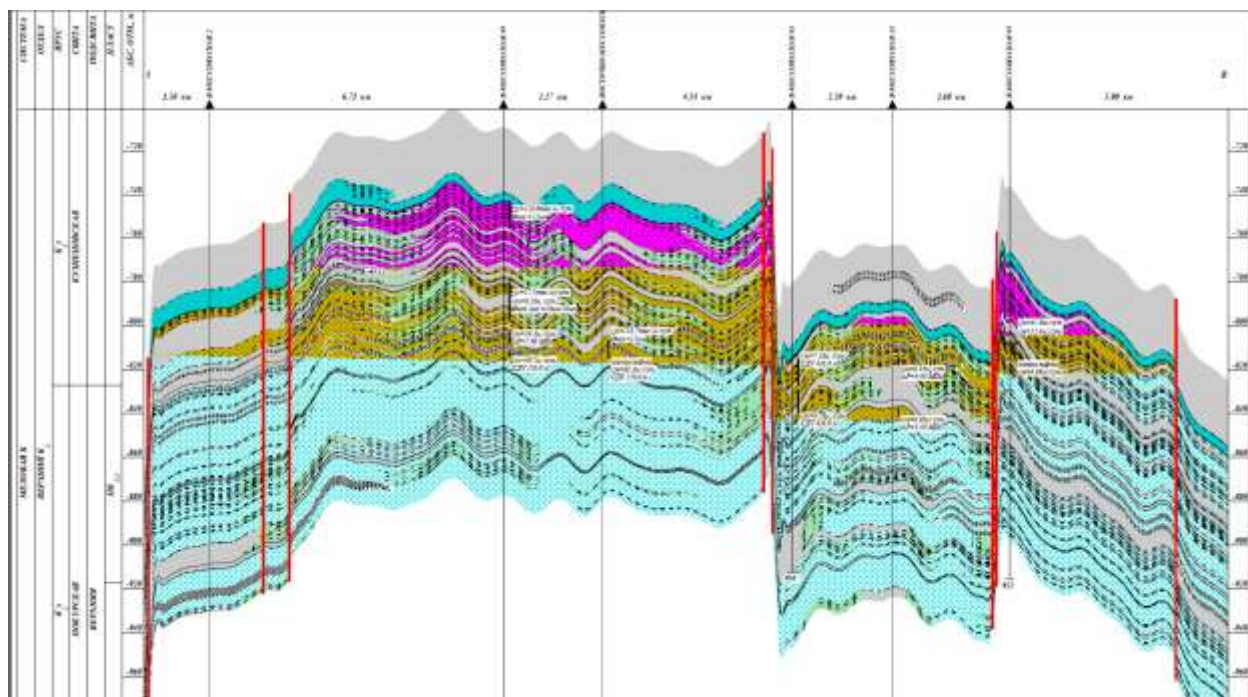


Рисунок 1.3. – Разрез пластов ПК₁₋₃. [27]

По официальным данным [27, 28], в настоящее время в рассматриваемой группе месторождений запасы нефти и газового конденсата категорий АВС₁+В₂С₂ оцениваются в 492,8 млн тонн. Кроме того, в месторождениях присутствуют запасы природного и попутного газа в объеме 170,6 млрд кубометров. Площадь лицензионных участков составляет 7278,46 км², глубина залегания основного продуктивного пласта - примерно 800 м. Индекс сложности скважин месторождения (DDI) один из самых высоких в отрасли – 7.1.

1.1.3 Петрофизика

В восточной части месторождения преобладают глинисто-алевритовые породы, реже песчано-алевритовые. Состав глин в восточной части преимущественно из монтмориллонитов, в западной части из каолинитов. Содержание глинистого цемента в восточной части месторождения выше, чем в его западной части и составляет порядка 10-30%. Основная глинистая составляющая цемента - каолинит (53-92%) с гидрослюдами минералами (30-45%). [20]. Каолинит преобладает в породах-коллекторах в скважинах с опущенными блоками, а гидрослюдистые минералы – в приподнятых блоках.

Цемент, присутствующий в песчано-алевритовых породах-коллекторах глинистый, реже карбонатный, массовая доля которого составляет 10-25%, реже 35%. Тип цемента пленочно-поровый и поровый, также встречается базальный в алевритах. Карбонатный цемент состоит из сидерита (3,5-18,7%) и кальцита (11-40%) [2]. Среднее содержание глинистых минералов в цементе пород представлено на Рисунке 1.4.

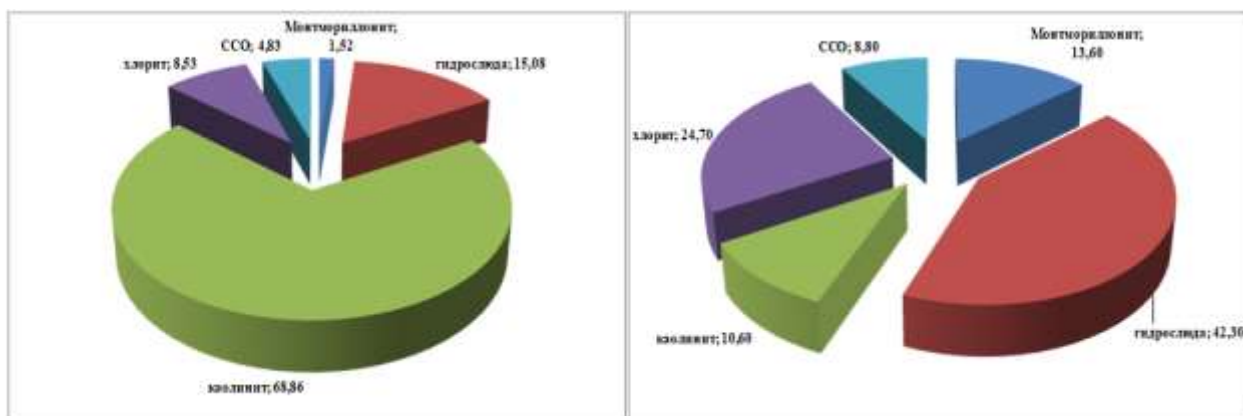


Рисунок 1.4. – Среднее содержание глинистых минералов в цементе песчано-алевритовых пород пласта ПК₁₋₃ на Восточно-Мессояхском месторождении [2].

Количество обломочного материала в песчано-алевритовых породах 60-95%, состав полевошпатово-кварцевый, с количеством кварца 35-65%, полевого шпата 25-55%, обломков пород 10-25% и слюдистых минералов 0,5-10%. Преобладающий размер обломков на Западно-Мессояхском

месторождении 0,05 до 0,20 мм. Сортировка от средней до плохой, реже хорошая ($S_0=1,66\div 4,29$). На Рисунке 1.5 представлены гранулометрический состав пород Мессояхского типа продуктивного пласта ПК₁₋₃ по классификации Ф.Шеперда и распределение глинистых минералов цемента пород Мессояхского типа по данным рентгеноструктурного анализа.

Аутигенные минералы представлены единичными зернами пирита, сгустками пелитоморфного сидерита, кристаллами кальцита, сидерита, и примазками лейкоксена.

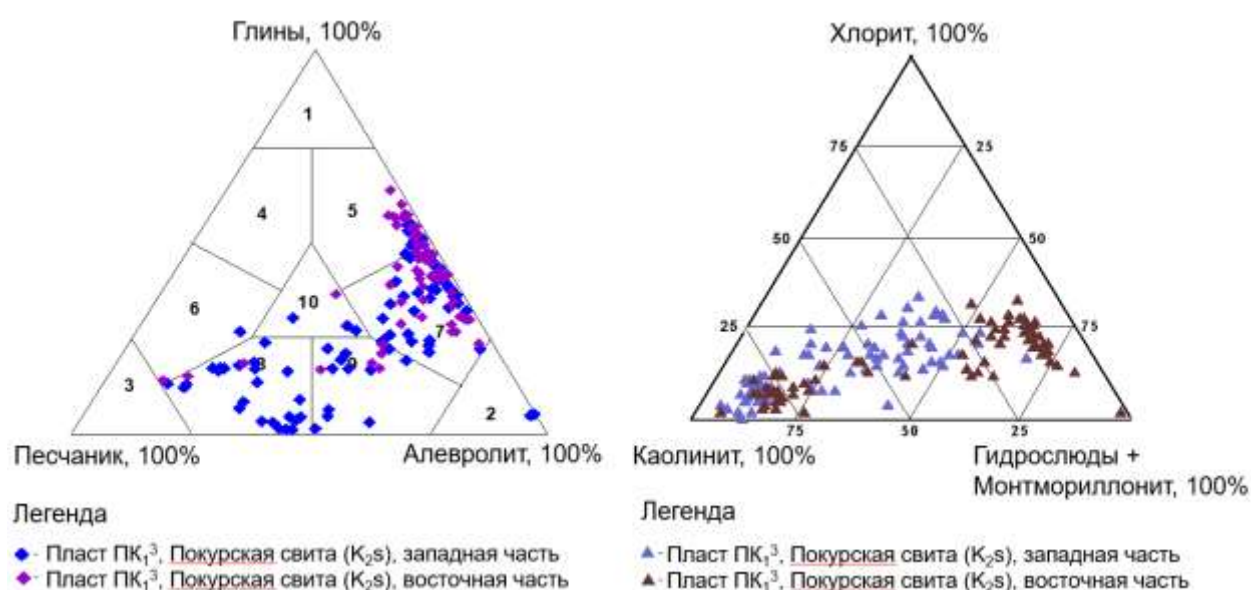


Рисунок 1.5. – Гранулометрический состав пород (слева), и распределение глинистых минералов цемента пород (справа) [2].

Среди акцессорных минералов встречены: циркон, турмалин, апатит, сфен, рутил, эпидот, гранат. Возможно, для групп минералов, которые встречаются на месторождениях, существовали разные источники сноса. Материнскими породами могли служить магматические породы кислого (циркон, турмалин, апатит) и основного (сфен, рутил, эпидот) состава, а также метаморфические (гранат) породы. Гранулометрический состав пород представлен в Таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Минералогический состав пород Мессояхского типа.

	Массовая доля компонентов, %							
	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MgO
Минимум	1,03	1,91	7,19	28,22	1,18	0,24	0,24	0,58
Средняя	2,20	4,68	13,84	66,62	2,97	1,82	0,58	1,01
Максимум	2,69	27,52	18,84	74,20	3,42	19,7	0,94	2,79

Рассматриваемые слабосцементированные отложения пласта ПК₁₋₃ на основе литологического состава и его текстурно-структурных признаков, можно отнести к прибрежно-морской обстановке осадконакопления. А именно фации дельты, маршевых болот и лагуны. Рассматриваемые фации связаны с условиями прибрежного осадконакопления с различным удалением от береговой линии.

Преимущественное распространение пологоволнистой, волнистой слоистостей и их мелкий масштаб свидетельствует о резком преобладании волновой деятельности, о слабой и часто меняющейся динамике водной среды, а илистые пески с глинистыми прослоями и тонкие пропластки угля свидетельствуют о приливно-отливной деятельности на береговой полосе.

Иногда участки береговой зоны затопляются только при сильных приливах или больших нагонах волн, здесь глинистые породы чередуются с прослоями угля, отмечаются остатки углефицированной растительности [11]. Породы являются рыхлыми, слабосцементированными, крупнозернистые песчаные пропластки сыпучие и подвержены разрушению.

Согласно исследованиям [6], коэффициент открытой пористости K_p измерен на 4371 образце, в том числе из коллекторов на 3107 образцах [2]. Средневзвешенное значение K_p коллекторов по керну составляет 31.0 %, диапазон – от 19.2 до 43.6 %. Средневзвешенные значения в нефтенасыщенной части разреза составляет 30.7%, в газонасыщенной – 28.0%. [2].



Рисунок 1.6 – Открытая пористость [2].

Коэффициент абсолютной проницаемости $K_{пр}$ измерен на 4252 образцах, в том числе из коллекторов на 3 057 образцах. По коллекторам средневзвешенное значение $K_{пр}$ составляет 505 мД при диапазоне от 3.3 мД до 10000 мД. Средневзвешенные значения в нефтенасыщенной части разреза составляет 350 мД, в газонасыщенной – 290 мД [2].

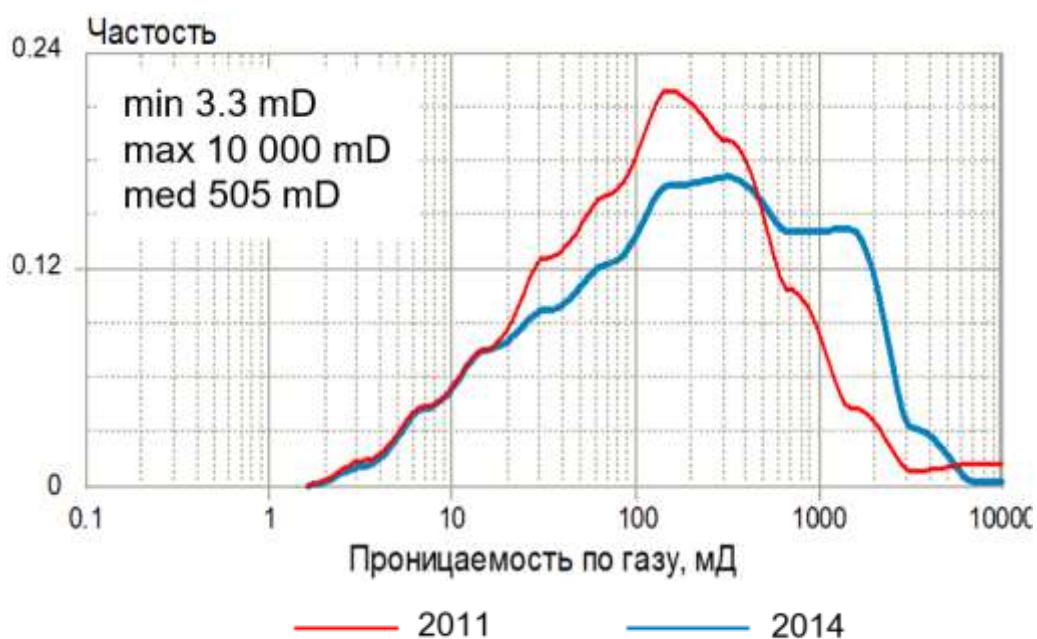


Рисунок 1.7 – Проницаемость [2]

Коэффициент остаточной водонасыщенности $K_{во}$ измерен на 533 образцах керна, в том числе из коллекторов на 452 образцах. Диапазон изменения $K_{во}$ меняется в пределах 8.0 – 64.3%, при средневзвешенном значении 26.9 %. Средневзвешенные значения в нефтенасыщенной части разреза составляет 28.9 %, в газонасыщенной – 33.9 % [2].

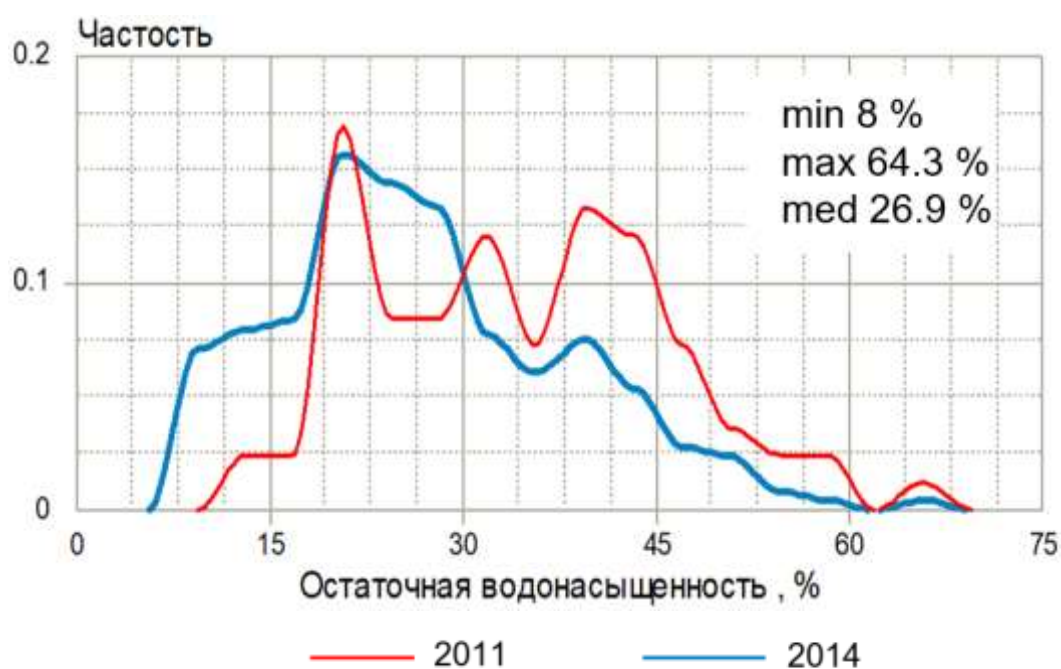


Рисунок 1.8 – Остаточная водонасыщенность [2]

На основе вышесказанного, слабоконсолидированный керн Мессояхского типа пласта ПК₁₋₃, можно классифицировать как соответствующий III и IV категориям по буримости и I-II группе пород по трудности разработки и выходу керна, что подтверждается данными по выносу керна при его отборе на ранних этапах разработки месторождения [2]. Категории буримости представлены в Таблице 1.2, классификация групп пород по трудности разработки представлена в приложении Б.

1.2 Существующие подходы к отбору керна

1.2.1 Основные принципы отбора керна

Для возможности проведения лабораторных исследований с высокой степенью репрезентативности необходимо обеспечить качественный исходный керновый материал с высокой степенью выноса и не загрязненный буровыми растворами. В значительной степени это напрямую влияет на качество результатов исследований и устанавливает высокие требования к технологиям и принципам кернования.

Основными факторами, влияющими на формирование керна являются:

- *Геологические* – определяют физико-механические свойства горных пород, как их сопротивляемость разрушению. Характеризуются структурно-текстурными признаками, петрографическим составом пород, степенью метаморфизма. Кроме того, включают угол встречи скважин с плоскостью напластования и условия залегания горных пород.
- *Технические* – определяют все факторы, основанные на конструктивных особенностях, условиях и особенностях режима работы механизмов отбора кернового материала.
- *Технологические* - определяют режим и способ проведения бурения пласта. Включают определение времени рейса, способа выноса пород с забоя скважины, используемые буровую головку и буровой раствор, а также другие технологические особенности проведения буровых работ.
- *Организационные* – характеризуют контроль за соблюдением выбранной технологии проведения буровых операций и ее полное соответствие проекту. Включает контроль наличия измерительных приборов, квалифицированного персонала и рациональных средств отбора кернового материала.

Исходя из вышеизложенного, можно выделить следующие моменты, которые имеют первостепенное значение в процессе отбора керна: категория

горных пород по сложности отбора проб керна, диаметр образца керна, тип бурового долота, конструктивные особенности приемного устройства-керноотборника, технологии бурения и организации труда.

До начала отбора представительного керна из целевого пласта необходимо обосновать технологические методы его получения, и используемые в ходе работ технические средства, которые позволят достичь необходимого результата.

Перед началом подбора оборудования необходимо выполнить классификацию отбираемых горных пород согласно действующей, разработанной в ВИТР (всесоюзный институт техники и разведки). Это необходимо в связи с тем, что отечественное оборудование разрабатывается с учетом данной классификации, определяющей границы применимости оборудования. Данная классификация представлена в Таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Категории пород по буримости, классификация ВНИИБТ.

Категория трудности	Состояние горных пород	Тип горных пород
I	Монолитные, слаботрещиноватые, не размываемые промывочной жидкостью и ненабухающие, не разрушаемые вибрациями кернового инструмента	Непроницаемые пелитоморфные глинистые горные породы любой пористости: глины, аргиллиты, глинистые алевролиты, сланцы, плотные сцементированные песчаники
II	Средне- и низкопористые, перемежающиеся, слаборазмываемые промывочной жидкостью, малоразрушаемые вибрациями кернаотборного инструмента	Средне- и низкопроницаемые терригенные и карбонатные кристаллические осадочные горные породы (песчаники, алевролиты, доломиты, известняки, ангидриты, каменная соль), изверженные и метаморфические породы, обломочные породы с низким содержанием глинистой фракции
III	Весьма трещиноватые, перемежающиеся, размываемые промывочной жидкостью, разрушаемые вибрациями кернового инструмента	Известняки перемятые, песчаники слабосцементированные и трещиноватые
IV	Рыхлые, перемятые и плавучие, набухающие, высокопористые, растворяющиеся в промывочной жидкости	Пески и известняки рыхлые, плавунуны

После отбора пород и их доставки в лабораторию, исследования неконсолидированного керна проводятся как на свежем керне (кern не очищенный от углеводородов), так и на керне прошедшем этап очистки (экстракции). Также возможно проведение этапа по «старению» керна, т.е. созданию условий для восстановления естественной смачиваемости. Изучение свежего и экстрагированного керна требует различной организации работ, а также и применение различных этапов работ с керном.

Образцы керна как правило отбираются либо из стенки скважины (отдельные пробы) либо бурением новой скважины. В качестве основного в дальнейшем в работе будет рассматриваться только второй метод. Для него диаметр отбора образцов составляет 80, 100 или 120 мм, а длина образцов 6,5, 13 или 19 метров. Важно отметить, что в связи с особенностями структуры и петрофизики рассматриваемого месторождения необходимо также учесть ряд специальных требований к отбору пород и изготовлению образцов керна в лабораторных условиях.

При проведении лабораторных исследований за базовый диаметр образцов рекомендуется принимать диаметр 1,5 дюйма, как наиболее подходящий для изучения неконсолидированного керна. [7]. На Рисунке 1.9 приведены рекомендуемые размеры керна для проведения лабораторных исследований

Основные причины выбора данного размера в том, что это международный стандарт, обусловленный сохранением повышенных прочностных свойств у образца по сравнению с образцами меньшего диаметра. Также важным является тот факт, что для коллекторов со сложными структурно-текстурными неоднородностями (коллектора ПК1-3 обладают как рассеянной, так и слоистой глинистостью) такой размер образцов позволяет повысить достоверность определения физических свойств.

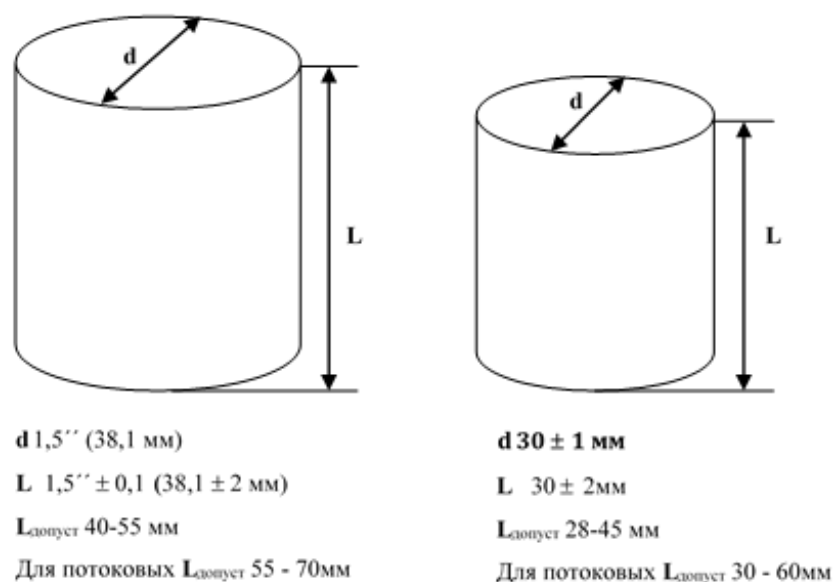


Рисунок 1.9. – Стандартные размеры образцов керна для проведения лабораторных исследований [24]

Соответственно, предложенные в дальнейшем технологии отбора керна в обязательном порядке должны обеспечивать возможность получения стандартных по размеру образцов.

1.2.2 Документы, регламентирующие исследования керна

На основе проведенного литературного обзора методик по отбору и работе со слабо консолидированным керновым материалом было определено, что большинство использующихся в настоящее время в России методик исследования кернового материала основаны на РД 39-0147716-505-85 «порядок отбора, привязки, хранения, движения, и комплексного исследования керна и грунтов нефтегазовых скважин».

В частности, можно выделить следующие основные документы, регламентирующие процесс отбора и лабораторного анализа кернового материала:

- РД 39-0147716-505-85 «порядок отбора, привязки, хранения, движения, и комплексного исследования керна и грунтов нефтегазовых скважин».

- Стандарт компании № П1-01 СЦ-043 «порядок организации отбора, транспортировки, хранения и комплексного исследования кернового материала при геологоразведочных работах и разработке месторождений углеводородов». Используется компанией Роснефть.
- РД 153-39.0-069-01 «техническая инструкция по проведению геолого-технологических исследований нефтяных и газовых скважин». Используется компанией Газпром.
- Р Газпром 065-2009 «методические рекомендации по проведению, обработке, хранению и представлению результатов литолого-петрографического исследования керна». Используется компанией Газпром.

В зарубежных компаниях как правило используются регламентирующие документы, основанные на API RP40 «рекомендуемые практические методы анализа керна», 1998 г [7].

1.2.3 Причины неэффективного лабораторного анализа керна

При работе с породами Мессояхского типа, одним из наиболее существенных недостатков руководящего документа РД 39-0147716-505-85 и документов на его основе, является ориентированность описанных методик только на хорошо сцементированные образцы кернового материала I и II категорий буримости при использовании керноотборных снарядов типа «Недра». В то же время работа со слабосцементированным керном для III и IV категорий буримости и особенности использования соответствующих технологий отбора и исследования образцов материала в документе не отражены.

Таким образом, работа со слабосцементированными коллекторами не регламентирована основными руководящими документами. Это означает низкое качество отобранного для исследований кернового материала и его малый вынос при использовании существующих стандартных методик.

Согласно имеющимся данным, эффективный вынос керна по существующим методикам в среднем составляет 25-28% [2]. В обновленных документах на основе РД 39-0147716-505-85 [20-22] отбор керновых проб для III и IV категорий буримости также описывается лишь кратко и, как результат, имеет ряд существенных недостатков для них, ухудшающих качество отобранного материала, в частности:

- *Значительное влияние бурового раствора при отборе керновой пробы* Использование стандартных керноотборных буровых головок приводит к значительному прониканию бурового раствора в образец, что приводит к несоответствию объема флюидов в образце изначальному значению в пласте
- *Разрушение слабосцементированного кернового материала при его отборе.* При отборе образцов должны быть использованы специальные керноотборные снаряды, учитывающие структуру и тип породы, который необходимо извлечь.
- *Разрушение слабосцементированного кернового материала при его экстракции из скважины.* При отборе образцов без консервации, при их экстракции происходит перепад давления, который может разрушить керн из-за процессов дегазации, если извлекать керн слишком быстро.
- *Разрушение слабосцементированного кернового материала при его транспортировке.* До начала транспортировки керн должен быть зафиксирован в тубусе (если не было отбора консервированных образцов керна) и должны быть использованы специальные демпфирующие ящики, препятствующие повреждению керна.
- *Изменение свойств слабосцементированного кернового материала при его подготовке к проведению исследований.* Керн в обязательном порядке должен максимально сохранить свои свойства, а именно структуру и флюидонасыщенность до начала

проведения исследований, что требует особой подготовки образцов, например, охлаждения в жидком азоте.

Все вышеперечисленные факторы, если их не учитывать приводят к значительному снижению объема полезной информации, получаемой из кернового материала или ее недостоверности. В свою очередь, это приводит к необходимости отбора большего числа проб для сохранения высокой репрезентативности данных, как следствие, при использовании стандартных методов значительно повышаются финансовые затраты на отбор кернового материала.

2 ПРЕДЛАГАЕМОЕ РЕШЕНИЕ

2.1 Отбор образцов из целевого пласта и их транспортировка

2.1.1 Бурение слабосцементированного керна

Для решения проблемы растрескивания керна во время бурения и снижения глубины зоны проникновения бурового раствора в образец керна, необходимо применение специальных буровых долот на основе PDC в дизайне LI. (Например, 215,9/101,6 FC3000, Halliburton) Сравнение методик представлено на Рисунке 2.1. Трапецевидное сечение буровой головки позволит добиться минимальной глубины проникновения бурового раствора в керна. Недостатком подобных решений является их более высокая стоимость относительно стандартных буровых керноотборных головок



Рисунок 2.1. – Буровое долото с низким уровнем проникновения бурового раствора (LI) по сравнению со стандартным буровым долотом [31]

Для уменьшения влияния бурового раствора на керновую пробу при высокой кавернозности и трещиноватости коллектора необходимо использование нейтрального изолирующего агента. В качестве минимально допустимого возможно применение неполярного машинного масла, не смешивающегося с нефтью, однако дальнейшее его сепарация от нефти может являться довольно проблематичной. Альтернативой является использование инертных гелей на основе полиакриламида, показанная на Рисунке 2.2. Однако эта технология имеет ряд недостатков – в частности может быть затруднена

полная сепарация гелей от керновой пробы без ее частичного разрушения или изменения свойств образца в случае глубокого проникновения гелей в рыхлые высококавернозные или высокотрещиноватые породы.

Примерами подобных технологий могут являться технологии СК – 178/100«LONG»-01 ООО НПП «Буринтех» с изолирующим агентом «Изокор» и КОС УКР 185/100 «ТЕНГИЗ» с агентом ПААП и технология «GelCoring» компании Baker Hughes. [30].

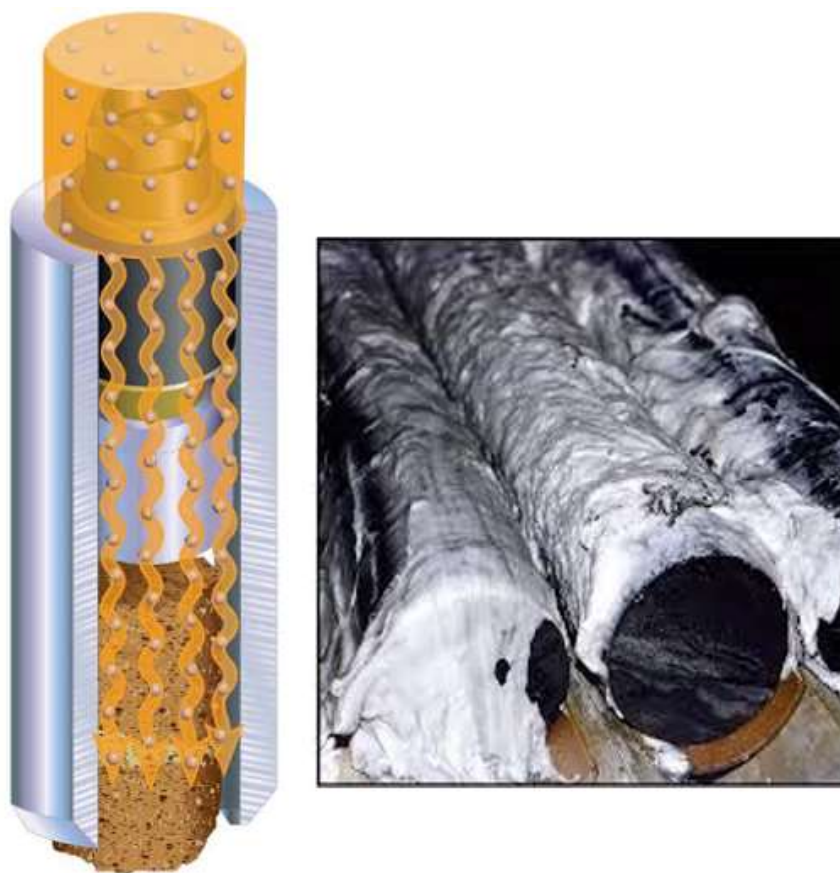


Рисунок 2.2. - Изоляция кернового материала инертными гелями по технологии GelCoring [30]

Сравнение флюидосодержания в образце керна по технологии «GelCoring» относительно отбора кернового материала по стандартным технологиям представлена на Рисунке 2.3.

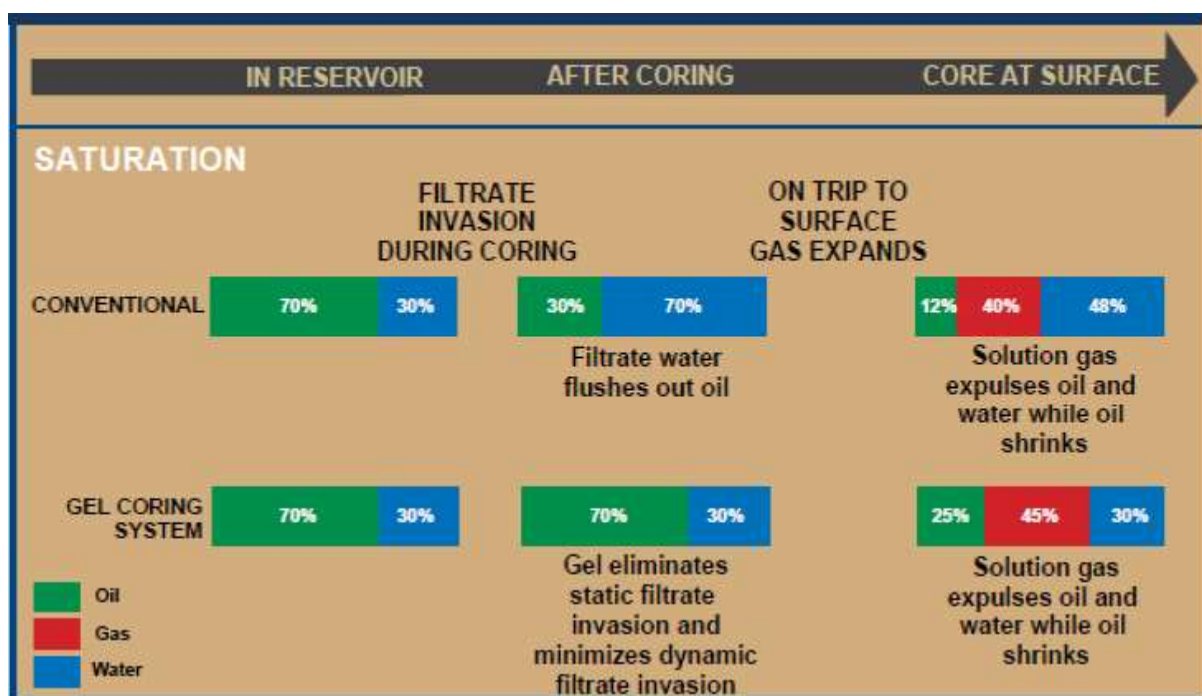


Рисунок 2.3. – Изоляция кернового материала с использованием инертных гелей [30]

Альтернативным методом сохранения содержания пластовых флюидов в отобранной пробе керна является задержание флюидов керновом образце с использованием губчатой системы на полиуретановой основе с двухтрубным пробоотборником (Рисунок 2.4). Данное решение позволяет снизить потери пластовых флюидов перед консервацией и извлечением кернового образца.

Дополнительно важно отметить, что в ходе бурения в этом случае необходимо использовать буровые растворы на полимерной основе в связи с содержанием монтмориллонитовых глин в породах рассматриваемого месторождения.

Данная технология является менее эффективной по сравнению пластовых флюидов в керновом материале относительно применения полимерных гелей, однако менее затратна и значительно более проста в применении. Также существенным преимуществом данной методики является отсутствие необходимости в дальнейшей очистке керна от полимерной пленки.

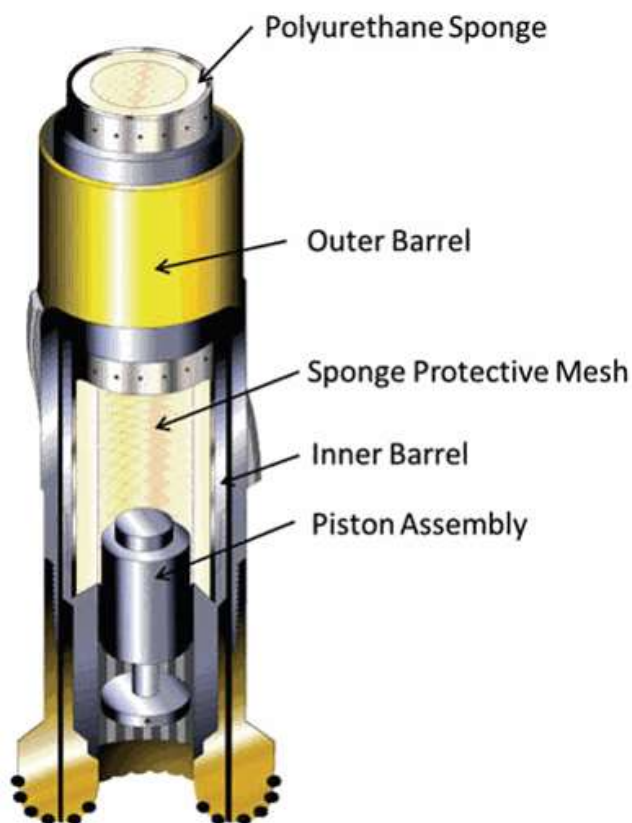


Рисунок 2.4. – Применение полиуретановой губковой вставки [30]

2.1.2 Решение проблем при отборе слабосцементированного керна

Для повышения качества отбора керна из неконсолидированных пластов лучше использовать полнозакрываемые керноотборные системы, предусматривающие использование внутренних керноприемных труб (тубусов), оборудованные специальной системой захвата керна для отбора сложных пород, несущих две основных функции: обеспечение качества отбора керна путем физической поддержки керна во время бурения и его последующей сохранности.

Рассматриваемая технология позволяет приемнику скользить по поверхности неконсолидированного керна с минимальными повреждениями пробы пород. Фиксация с последующим запиранием отборника происходит в нижней его части, что предотвращает возможность заклинивания сердечника в трубе и/или его потерю.

Трубы для керна вставляются в приемник и удерживаются при помощи силы трения и блока кернозахвата. Стандартные трубы имеют максимальную длину около 9 метров, для решения специальных задач могут быть использованы их более короткие отрезки.

Для горных пород с различными физико-механическими свойствами используются приемные устройства керна следующих серий: Недра, Камбрий, Силур, Тенгиз, Риф, Плутоний и МАГ. Характеристики керноприемных устройств представлены в Таблице 2.1.

Таблица 2.1 - Керноприемные устройства согласно ТУ 3664-007-70587573-2009

№ п/п	Керноотборочные снаряды (КОС)	Область применения	Диаметр керна, мм	Категория трудности отбора
1.	«Недра»	Неосложненные условия бурения	52, 67, 80, 100	I
2.	«Силур»	Осыпи, обвалы, желебообразования, прихваты	52, 80	III
3.	«Кембрий»	Рыхлые, слабосцементированные, трещиноватые породы	67, 100	III
4.	«Тенгиз»	Газонефтеводопроявления, поглощения	100	III; IV
5.	«Риф»	Рыхлые, сыпучие, сильнотрещиноватые, рифогенные породы	120	III; IV
6.	«МАГ»	Твердые, консолидированные, абразивные породы	60	I
7.	«КИМ»	Слабосцементированные породы	52, 80, 100	III
8.	«Лайнер»	Слабосцементированные, сыпучие породы	80, 100	IV; III
9.	«Структура»	Нелитифицированные донные отложения при бурении морских исследовательских скважин	57, 80	IV
10.	«Плутоний»	Очень рыхлые, рассыпающиеся сильнотрещиноватые породы	80;100	III - IV

Наряду с отечественными образцами керноотборных устройств для данных категорий пород также используются аналоги зарубежного производства. В частности, керноотборные снаряды контейнерного типа, с

резиновым рукавом, и с полностью закрытым кернаприемником системы «HYDRO-Lift», производства фирмы ЕС, либо их аналоги производства фирмы DBS.

Для решения проблемы разрушения керна при его экстракции после завершения процесса бурения, необходимо использование специальных керноотборных снарядов. Данное требование обусловлено тем, что использующиеся стандартные снаряды (по схеме КОС типа КИС 190.5/215.9) при извлечении вкладышей допускают разрушение неконсолидированного керна, что недопустимо [21].

В частности, альтернативой являются кернаприемные устройства с кернавателями углового извлечения (отлома) проб на основе КОС РИФ УКР-195-120 (либо КОС Лайнер) с использованием фибerglassовых кернаприемных труб или аналогичные зарубежные решения.

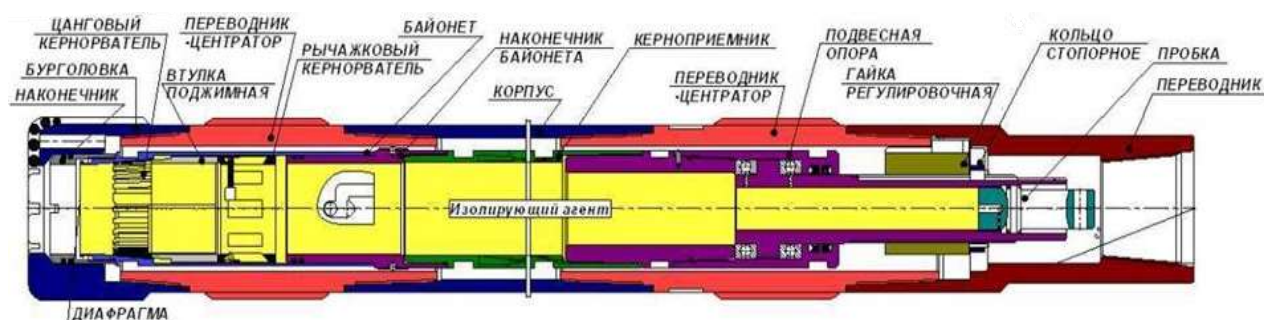


Рисунок 2.5 - схема кернаотборного снаряда «Риф» с изоляцией кернавого материала [1]

Чтобы повысить эффективность получения кернавых образцов важно знать геологические особенности разреза и его состав пород, для выбора оптимальных типа и конструкции как бурового, так и кернаотборного оборудования.

2.1.3 Решение проблем при подъеме слабосцементированного керна

Для решения проблемы разрушении керна при его подъеме из скважины необходима консервация кернавого материала с сохранением условий максимально близких к исходным в пласте. Подобное возможно при

использовании двух стеночных керноприемных труб из фибerglassа или алюминия и специального керноприемного оборудования, например КОС «Риф».

Дополнительно можно повысить выход керна путем расчета максимально допустимой скорости подъема керноотборного снаряда с образцом с учетом точки разгазирования и газового фактора флюида в образце керна. Данные ограничения призваны предотвратить разрушение кернового образца в связи с выходом флюидов из него. В особенности это должно быть учтено при отсутствии возможности полной консервации керна с момента его отбора и до приема образцов в лаборатории. По данным Colin McPhee, Senenergy, UK, для нефтенасыщенных коллекторов рекомендована скорость подъема с забоя скважины 240 метров в час, при подъеме до глубины 150 метров - 120 метров в час. Начиная с глубины 150 метров – 36 метров в час.

Помимо этого, во избежание деформации трубы с керном при ее спуске со стола ротора на приемные мостки необходимо использование деревянной или металлической укладочной рамы, предотвращающей прогиб трубы и деформацию керна во время ее спуска. Примеры керна после различного спуска трубы представлены в приложении В.

2.1.4 Решение проблем при подготовке керна к транспортировке

Согласно стандартной технологии, трубы однократного применения после подъема из скважины разрезаются с использованием дисковых пил с диаметром диска 355-360 мм на метровые отрезки, что показано на Рисунке 2.6. Наиболее желательно использование ленточнопильных станков вместо отрезных станков, в связи с меньшей ударной нагрузкой в процессе резания керна и тубуса, а также меньшей вибрационной нагрузке в процессе реза.

Концы получившихся тубусов закрываются крышками диаметром, соответствующим диаметру труб, и фиксируются хомутами, что обеспечивает защиту керна от высыхания и разрушения. При соблюдении технологии

отбора в фибerglassовых трубах слабо консолидированный, рыхлый, трещиноватый керн сохраняется в неизменном состоянии.



Рисунок 2.6 – Разрезание крновой трубы на дисковой пиле

Для решения проблемы разрушения крнового материала в ходе транспортировки необходимо использовать сегментированные тубусы, а также проводить консервацию керна путем заполнения труб с крновым материалом стабилизирующим инертным агентом. Это позволит предотвратить повреждения и деформацию образца при транспортировке. В качестве фиксирующих составов возможно применение полиуретановой пены, неполярного масла или полиакриламидной пасты, гипсовая смесь (примером является состав компаний «Reslab» совместно с компаниями «Norske Shell», «Norsk Hydro», «Norsk Agip»). Достоинства и недостатки различных способов консервации керна перед его транспортом представлены в приложении Г.

При подборе консервирующих составов необходимо соблюдать несколько обязательных условий: составы должны быть безопасны, легко

удаляться и не изменять состав и свойства пород. Исходя из состава кернового материала, оптимальным способом является использование гипсовой смеси, как инертного агента, который может быть легко удален из образца породы, при этом не оказывающий никакого воздействия на образец. Также возможно применение полиуретановой пены, закачанной под давлением, Рисунок 2.7



Рисунок 2.7 – Консервация керновых тубусов полиуретановой смолой.

Альтернативой является комбинированная заморозка керна с использованием жидкого азота с предварительным применением фиксации керна по технологии «Plastic strip» (Рисунок 2.8). Цель применения подобных технологий – минимизация смещения керна относительно друг друга без использования консервирующих составов, а также снижение влияния ударных нагрузок при транспортировке керна.

Необходимо учитывать, что при температурах заморозки ниже -35°C начинают происходить изменения структуры пород в отобранных образцах керна. Согласно исследованию компании Шлюмберже [3], предсказания изменений структуры в керновых образцах при температурах ниже -50°C является крайне проблематичным. В связи с этим, заморозка с использованием жидкого азота до -197°C может привести в дальнейшем к значительному

изменению результатов в ходе лабораторных исследований. Возможной альтернативой может являться шоковая заморозка керновых образцов, однако по ее применению или апробированию не было найдено информации.



Рисунок 2.8 – Стабилизация керна по технологии Plastic Strip (Baker Hughes)

Кроме того, при доставке слабосцементированного кернового материала необходимо использовать специальные ящики со вставками из демпфирующих материалов и вырезами под тубусы с керном. Пример подобного ящика представлен на Рисунке 2.9.



Рисунок 2.9 – Специальный ящик для транспорта керновых тубусов с демпфирующим наполнителем

При использовании стандартных ящиков из дерева или ударопрочного пластика, необходимо дополнительно проложить их листами амортизирующего материала, например плотного поролон толщиной 15-30 мм. В случае с заморозкой керн необходимо применять термоизолированные ящики и термоизолированный транспортный кунг, который обеспечит оптимальные условия для транспортировки образцов. [5,10].

Транспортировка керн до лаборатории для дальнейшего анализа возможна с использованием грузовых машин при наличии хотя бы грунтовой дороги и необходимой транспортной инфраструктуры. Альтернативой, при невозможности является доставка крннвого материала с использованием вертолета до ближайшего транспортного пункта.

2.2 Работа с керном в лаборатории

2.2.1 Проведение приемки керна

На всех этапах работ с неконсолидированным (слабо сцементированным) керном необходимо полностью исключить ударные воздействия на тубусы с керном и на сам керна. После поступления керна необходимо провести его приемку. Порядок работ описан в Таблице 2.2

Таблица 2.2 – Порядок проведения приемки кернового материала

№	Выполняемые работы на данном шаге
1	Сравнить количество керна со сводкой по отбору керна (актом приема-передачи), и убедиться, что керовый материал не был утерян во время транспортировки. Указать все повреждения и деформации керна, полученные во время работы с керном на скважине и во время транспортировки.
2	Проверить на предмет соответствия с суммарной глубиной нумерацию и порядок транспортных контейнеров.
3	Проверить наличие маркировки тубусов.
4	Оценить герметичность тубусов.
5	По окончании осмотра керна составить акт осмотра керна в двух экземплярах.

2.2.2 Подготовка керна к исследованиям

На начальном этапе работ после завершения процесса приемки керна и регистрации полученных образцов в базе данных необходимо провести подготовительные мероприятия. Целью профильных подготовительных работ является получение информации о качестве керна, о его привязке к ГИС, выполнение подготовительных работ для проведения исследований, уточнение мест отбора образцов. Основные работы, которые должны обеспечить требуемый результат по их завершению представленные в Таблице 2.3:

Таблица 2.3 – Порядок подготовки кернового материала к исследованиям

№	Выполняемые работы на данном шаге
1	Томография керна, экспресс обработка результатов;
2	Профильный гамма-каротаж;
3	Увязка керна к результатам ГИС, отправка результатов Заказчику;
4	Уточнение ориентировки керна по напластованию;
5	Уточнение мест отбора образцов на: • Определение нефтеводонасыщенности (если это не сделано в поле); • Определение геомеханических исследований на полноразмерных образцах; • Изготовление образцов методом вдавливания (выбуривание на «сухую»); • Изготовление стандартных образцов с заморозкой; • Изготовление образцов на потоковые эксперименты; • Изготовление стандартных образцов для геомеханических исследований (с размерами в соотношении диаметра к длине 1:2);
6	В соответствии с требованиями программы первыми изготавливаются образцы методом вдавливания на незамороженном керне (а также образцы по технологии выбуривания на «сухую»);
7	После заморозки керна изготавливаются образцы для потоковых экспериментов;
8	Проводится распиловка керна;
9	Фотографируется керн в белом и ультрафиолетовом свете;
10	Изготавливаются стандартные образцы, а также образцы для геомеханических исследований
11	Выполняется послойное (при необходимости седиментологическое) описание;
12	Отработанный керн помещается на долговременное хранение в замороженном состоянии криокунг (на период до 6 месяцев, температура -25 °С).

2.2.2.1 Получение первичной информации о керновых образцах

Томография рекомендована к обязательному использованию экспертами BP, CoreLab, Weatherford, Shell. В качестве оборудования для ее проведения может быть использован рентгеновский томограф HD360-16 компании «Universal Systems» или его аналог.

Томография неконсолидированного керна должна решить следующие задачи:

- Контроль качества отбираемого керна
- Уточнение привязки керна к ГИС (сложные интервалы, с неоднозначной увязкой по профильному ГК)
- Ориентировка керна по напластованию
- Выбор интервалов для изготовления образцов методом вдавливания
- Выбор интервалов для изготовления полноразмерных образцов
- Выбор мест отбора образцов для потоковых экспериментов
- Выбор мест отбора стандартных образцов на геомеханические исследования
- Выбор мест отбора стандартных образцов для петрофизических исследований

В качестве стандартной формы отчета в конце работ должны быть предоставлены фотографии по каждому тубусу вдоль оси керна (в плоскостях XZ и YZ) и перпендикулярные срезы в наиболее интересных участках (от 2 до 10 срезов на 1 метр). Текстовая часть отчета должна содержать определение рентгеновской плотности вдоль керна, качественную и количественную оценку трещин, информация о напластовании. [21]. Пример результатов томографической съемки представлен в приложении Д.

Построение структурных 3Д-моделей керна на основе фотографий, полученных в ходе томографии теоретически возможно, однако не было обнаружено оборудования или программного обеспечения, которое могло бы реализовать данную задачу для дальнейшего использования в моделировании

2.2.2.2 Привязка керна к данным ГИС

Для проведения привязки керна к данным ГИС и глубине отбора, необходимо провести измерение естественной радиоактивности керна. Для выполнения данной задачи может быть использовано оборудование SPGL-300 компании «Core Laboratories Instruments» или его аналог.

Скорость движения керна относительно детектора при измерениях рекомендовано устанавливать в диапазоне 0.1-0.15 м/мин для слабokonсолидированного керна с целью повышения качества результатов исследования.

Исследования методом гамма-каротажа решает следующие задачи:

- Определение общей (суммарной) радиоактивности (API),
- Определение содержания радиоактивных элементов калия (%), урана (ppm), тория (ppm)
- Определение плотности исследуемого керна (гамма-гамма каротаж)
- Сравнение и выполнение увязки кривых по керну с кривой ГК по ГИС.
- Проведение корректировки полученных результатов по глубине, с целью исключения погрешностей вызванных наличием транспортных заглушек на тубусах (приводит к фиктивному удлинению колонки керна) и привязка керна к глубине бурения и ГИС
- Создание сводного литолого-петрофизического планшета с описанием результатов исследования.

В качестве стандартной формы отчета создается таблица измеренных параметров керна с привязкой к определенной глубине, а также литолого-петрофизический планшет с привязкой кернового материала к глубине отбора и ГИС.

2.2.2.3 Подготовка слабokonсолидированного керна к проведению исследований

В каждой нефтяной компании и лабораторных центрах имеются свои устоявшиеся практики работ с неконсолидированным керном, однако в связи с отсутствием в отечественных регламентирующих документах рекомендаций

по проведению исследований неконсолидированного керна, было принято решение взять за основу API PR40, как документ, наиболее полно описывающий рекомендуемые практики работ.

Важно отметить, что устоявшихся рекомендаций в отечественной практике по подготовке керна к изготовлению образцов из замороженного керна нет. Степень влияния заморозки на фильтрационно-емкостные свойства образцов горных пород в полной мере не изучена, но в публикациях отмечается, что замораживание изменяет внутреннюю структуру зерен, влияя на проницаемость и пористость непредсказуемым способом. Быстрая заморозка ведет к высокой разнице температур между поверхностью и внутренней частью образцов, повышая давление в пределах образцов и, в итоге, приводя к возникновению трещин [9, 10].

Зарубежные исследователи рекомендуют следующую последовательность: сначала керн замораживается до температуры -250°C , затем до температуры -570°C или даже до -80°C [7, 9, 10]. Согласно рекомендациям компании Шлюмберже, заморозка керновых образцов должна проходить при температурах не ниже -35°C для слабосцементированных коллекторов. Это связано со значительно увеличивающимся влиянием низких температур на поровую структуру образцов при пересечении данной температурной отметки [3].

В то же время, для проведения экспресс-исследований зачастую приходится использовать жидкий азот. Главный минус этапа заморозки в жидком азоте – это разрушение прочности зерен скелета и глинистых частиц

Хранение замороженного керна на длительный срок (порядка шести месяцев) предполагается вести в специализированном термокунге, холодильная установка которого позволит поддерживать температуру -35°C круглый год

2.2.2.4 Распиловка кернового материала

Для изготовления образцов керна для проведения исследований необходимо провести распиловку керновых цилиндров после завершения процесса заморозки. Использовать для распиловки рекомендовано ленточную пилу в связи с чистым резом, возможностью распила больших диаметров образцов, высокой скоростью и малой ударной нагрузкой на керн.

Распиловка тубусов с керном проводится в соотношении 1:3. Схема распиловки представлена на Рисунке 2.10. При необходимости, после выбуривания образцов можно сделать второй спил. Получившаяся часть спила толщиной 1 дюйм (2,54 см) помещается на плоский лоток и заливается прозрачной эпоксидной смолой. Полученный срез керна предназначается для долговременного хранения. Хранение тонких срезов является более выгодным с точки зрения по части затрат на занимаемые площади, но имеет более высокие затраты на ее выполнение.

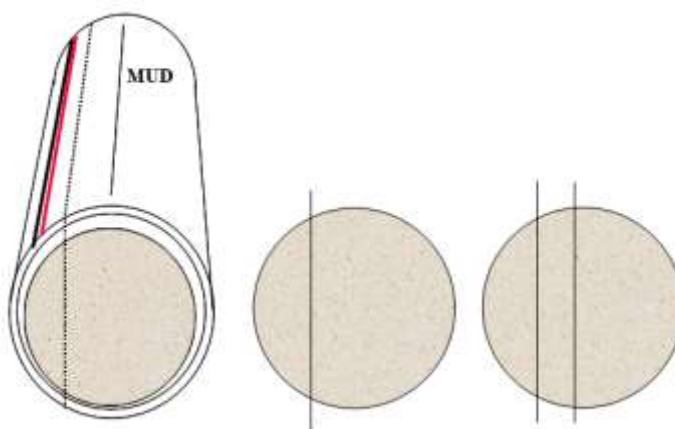


Рисунок 2.10 – Стандартная (по центру) и специальная (справа) схемы распиловки керновых тубусов [21]

Образец (2/4) обертываются полиэтиленовой пленкой вместе с тубусом, с обязательной фиксацией и помещается обратно в морозильную установку. Третья 1/4 толстая часть ядра входит в область фотографирования, после чего она помещается в морозильную камеру аналогично первой части. Оставшаяся часть используется для отбора образцов или рутинных исследований.

2.2.2.5 Выполнение отбора образцов для исследований

Области бурения образцов определяются с помощью анализа данных компьютерной томографии и анализа керна с привязкой керн-ГИС по данным гамма-каротажа. Особенно важно на данном этапе уточнить направление напластования. Необходимо выделить основные литотипы, встречающиеся в кернах. В каждом литотипе необходимо выполнить отбор образцов методом вдавливания. Если качество отобранных образцов является неудовлетворительным, такие интервалы отмечаются как целевые для выбуривания образцов алмазными коронками стандартных диаметров после замораживания керна жидким азотом. Типичная схема отбора проб керна показана на Рисунке 2.11.

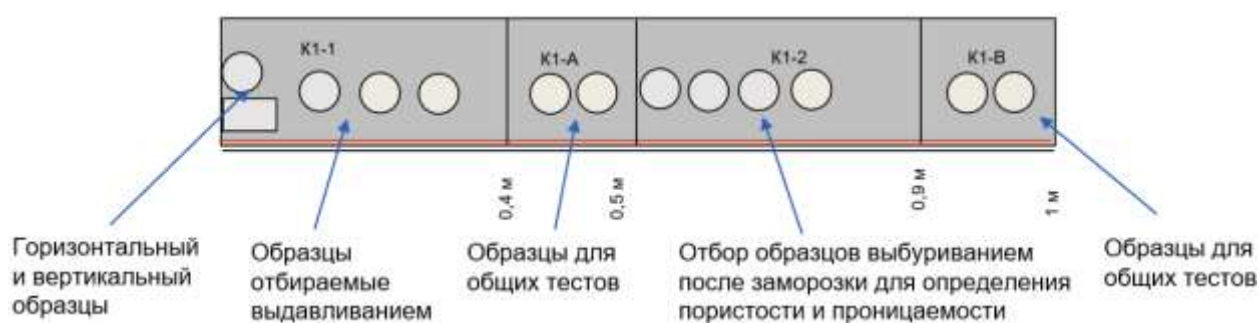


Рисунок 2.11 – схема отбора образцов керна с одного метра породы [21]

В практике работ по исследованию неконсолидированного керна применяются две основные технологии изготовления образцов для дальнейших исследований - метод вдавливания и выбуривание образцов с охлаждением жидким азотом [7].

Метод вдавливания применяется при изготовлении образцов из незамороженного керна. Стандартная процедура изготовления образцов методом вдавливания осуществляется следующим образом:

- Перфорация тубуса на толщину его стенки
- Очистка керна от глинистой корки
- Погружение тонкостенного плунжера в керн до упора

- Плунжер с керном извлекается и погружается в жидкий азот
 - После нагрева плунжера на газовой горелке образец извлекался и помещался в резиновую манжету (фольгу), по торцам закрепляются сеточки, выполняющие защитную функцию [30].
- Пример реализации представлен на Рисунке 2.12.

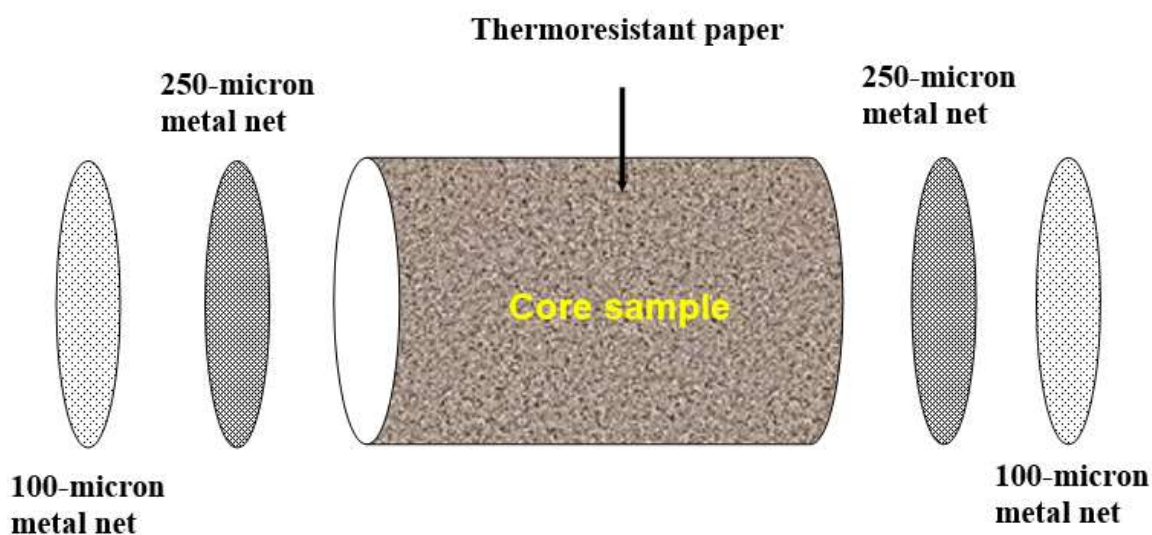


Рисунок 2.12 – Упаковка керновых образцов [7]

В настоящее время одним из наиболее совершенных устройств для выполнения таких работ, является оборудование фирмы “ErgoTech” (Великобритания).

Метод вдавливания имеет ограничения по применимости на неоднородных, слоистых участках керна, кроме того, при изготовлении неизбежно происходит уплотнение породы в торцевых участках образцов (степень уплотнения слабо поддается контролю). Важно отметить, что неконсолидированный керн, в свою очередь, разуплотняется при проведении работ по отбору керна, и степень его разуплотнения не поддается контролю.

При невозможности изготовления образцов методом вдавливания необходимо осуществить изготовление образцов с применением криотехнологий:

Образцы керна выбуриваются с помощью подачи жидкого азота как правило под давлением 2 атм., на фрезерных станках промышленной категории, обладающих моторами большой мощности, низкой вибрацией и истинной осью вращения. Для более качественного выбуривания необходимо обеспечить циркуляцию жидкого азота через коронку, с целью удаления частиц керна и обеспечения быстрого и качественного выбуривания образца.

В связи с тем, что экструдированные образцы можно отбирать без замораживания, наилучшим вариантом будет использование обоих методов отбора проб для получения наибольшего объема информации и корректировки проведенных измерений.

After core samples been taken, the following technical solutions are used to preserve them:

- Обсадка образцов различными видами термоусадочных пленок
- Обсадка образцов металлической (никелевой) фольгой

Каждая из технологий имеет свои плюсы и минусы - при изготовлении образцов с помощью термоусадочной пленки необходимо обеспечить плотный контакт между боковой стенкой образца и пленкой, плотную фиксацию торцевых фильтров, пленка должна быть инертна к использованию агрессивных жидкостей, применяемых в дальнейших исследованиях керновых образцов.

При использовании металлической фольги невозможно проводить замеры УЭС, сам способ изготовления образцов более трудоемкий и имеет более высокие риски получения некачественных образцов, однако влияние металлических сеток на замеры пористости и проницаемости значительно ниже, чем фторопластовые сетки, используемые совместно с термоусадками [7].

Примеры изготовленных образцов с использованием каждой их описанных выше технологий представлены на Рисунке 2.13.



Рисунок 2.13 –образцы керна, подготовленные к исследованиям [20]

2.2.3 Проведение исследований слабоконсолидированного керна

2.2.3.1 Измерение насыщенности флюидами

Определение насыщенности керна пластовыми флюидами согласно документу API RP40 было выбрано по методу Distillation extraction (plug). Возможными альтернативами являются Pressure-retained core method, Solvent flushing/Karl Fischer [7].

Выполнение анализа возможно на основе аппарата Сокслета или проточной экстракции. Режим работы был выбран как промывка в течение 15-30 дней с использованием органических растворителей (ацетон и тетрагидрофуран).

Извлечение флюидов из образцов керна рекомендуются проводить в аппаратах Сокслета, как наиболее доступных для рутинных работ. Извлечение в экстракторах, использующих углекислый газ, не рекомендуется из-за наличия повышенных нагрузок на образцы (многочисленные циклы впрыска и изменения давления работы). Образцы керна, взятые для капиллярметрических и специальных потоковых экспериментов,

рекомендуется использовать в проточном экстракторе с использованием индивидуальных держателей керна. [7].

Процедура извлечения флюидов из образцов в аппарате Сокслета рекомендовано проводить следующим образом:

- Заправить аппарат одним из растворителей (толуол, спирто-бензольная смесь, хлороформ и др.)
- Выбранные образцы загрузить в аппарат Сокслета. При загрузке обеспечить аккуратное вертикальное расположение образцов. Оптимальным количеством для загрузки является количество образцов до 30 шт диаметром 30 мм и 20 шт для образцов диаметром 1.5 дюйма.
- Обеспечить подачу воды в циркуляционной системе.
- Включить аппарат на нагрев до температуры кипения растворителя
- Экстракцию проводить круглосуточно в течение 5 дней с обязательной выстойкой в течение 2 дней.
- Провести контроль очистки по оценке степени окраски растворителя (отсутствие окраски экстракта говорит об окончании процесса).
- При наличии окраски растворителя цикл повторяется.
- При необходимости провести повторную экстракцию в другом растворителе.

2.2.3.2 Обессоливание образцов слабосцементированного керна

Согласно документу API RP40 обессоливание керновых образцов рекомендуется, если в пластовой воде содержится более 10 г/л NaCl. В этом случае используется водяная баня. Процесс обессоливания проходит при 50°C и заменой объема воды 5-10 раз. Рассмотрим процесс опреснения воды ниже:

Для очистки образцов горных пород от солей, выделяющихся из

пластовых флюидов, следует использовать дистиллированную воду. Замена воды необходимо проводить через каждые 2-3 часа, по факту превышению объема растворенных. Контроль растворенных хлоридов солей рекомендуется проводить с использованием азотнокислого серебра по характерному помутнению пробы раствора. Дополнительно может быть проведена деионизация дистиллированной воды с использованием различных устройств.

Для образцов горных пород, содержащих большое количество набухающих частиц глины, например монтмориллонитов, рекомендуется использовать метанол вместо дистиллированной воды [7]. В России использование метанола в лабораториях ограничено, поэтому вместо метанола следует использовать ацетон.

2.2.3.3 Сушка керновых образцов

Для выполнения сушки керновых образцов согласно требованиям документа API RP40 рекомендуется использовать вакуумную печь или термощкаф. Исходя из свойств слабо консолидированного керна, режим работы стоит выставить как 12-24 часа работы при 70°C.

Сушку образцов помещенных в индивидуальные кернодержатели рекомендуется проводить, пропуская через кернодержатель газ – азот, время сушки определяется опытным путем на образцах из неконсолидированных пород с близкими фильтрационно-емкостными свойствами. Контроль процесса сушки необходимо осуществлять путем взвешивания образцов

2.2.3.4 Определение открытой пористости

Определение открытой пористости образцов стандартным методом согласно требованиям ГОСТ-26450.0-85, ГОСТ-26450.2-85 допустимо для слабо консолидированного керна, в связи с чем была выбрана исходя из простоты и дешевизны применения.

Определение пористости методом жидкостенасыщения в отечественной практике работ регламентировано ГОСТ 26450.0-85, ГОСТ-26450.2-85 Породы горные. Методы определения коллекторских свойств.

Сущность метода заключается в определении объема пустотного пространства образца по разности масс сухого и насыщенного жидкостью образца. Его внешнего объема по разности масс насыщенного жидкостью образца в воздухе и в насыщающей жидкости и вычислении коэффициента пористости путем деления первого объема на второй. Дополнительно к массе образца добавляются массы торцевых сеток, а также термоусадочной пленки или никелевой фольги, ленты ФУМ. В расчетах это нужно учитывать.

Расчеты по данному методу проводятся следующим образом:

Коэффициент открытой пористости (K_p) в процентах вычисляют по формуле:

$$K_p = V_p / V_{обр} \quad (1.1)$$

Где:

m_d – масса двух перфорированных фторопластовых дисков

m_c – масса металлических сеток

$m_{пл}$ – масса термоусадочной плёнки

m_1 – масса сухого образца в упаковке

m_2 – масса насыщенного образца в упаковке в воздухе

m_3 – масса насыщенного образца в упаковке в воде

$m_{сух}$ – масса сухого образца без упаковки

$\rho_{ж}, \rho_d, \rho_c, \rho_{пл}$ – плотности жидкости, дисков, сеток, плёнки

V_p - объём пор образца

$V_{обр}$ – внешний объём образца

$V_d, V_c, V_{пл}$ – объёмы дисков, сеток, плёнки, установленных на образце.

$$m_1 = m_{сух} + m_d + m_c + m_{пл}$$

$$m_2 = m_{сух} + V_p \rho_{ж} + m_d + m_c + m_{пл}$$

$$m_3 = m_{сух} + V_p \rho_{ж} + m_d + m_c + m_{пл} - V_{обр} \rho_{ж} - V_d \rho_{ж} - V_c \rho_{ж} - V_{пл} \rho_{ж}$$

итак:

$m_2 - m_1 = V_{\text{п}} \rho_{\text{ж}}$, отсюда получаем:

$$V_{\text{п}} = (m_2 - m_1) / \rho_{\text{ж}}$$

$m_2 - m_3 = V_{\text{обр}} \rho_{\text{ж}} + V_{\text{д}} \rho_{\text{ж}} + V_{\text{с}} \rho_{\text{ж}} + V_{\text{пл}} \rho_{\text{ж}}$, отсюда получаем:

$$V_{\text{обр}} = (m_2 - m_3) / \rho_{\text{ж}} - V_{\text{д}} - V_{\text{с}} - V_{\text{пл}} = (m_2 - m_3) / \rho_{\text{ж}} - m_{\text{д}} / \rho_{\text{д}} - m_{\text{с}} / \rho_{\text{с}} - m_{\text{пл}} / \rho_{\text{пл}}$$

При определении пористости жидконасыщением следует вычислять объемную плотность образца ($\delta_{\text{п}}$), г/см³, по формуле

$$\delta_{\text{п}} = \frac{m_1 \cdot \delta_{\text{жс}}}{m_3 - m_2} \quad (1.2)$$

где $\delta_{\text{жс}}$ - плотность рабочей жидкости, и кажущую минералогическую плотность, по формуле:

$$\delta_{\text{к.м.п}} = \frac{m_1 \cdot \delta_{\text{жс}}}{m_1 - m_2} \quad (1.3)$$

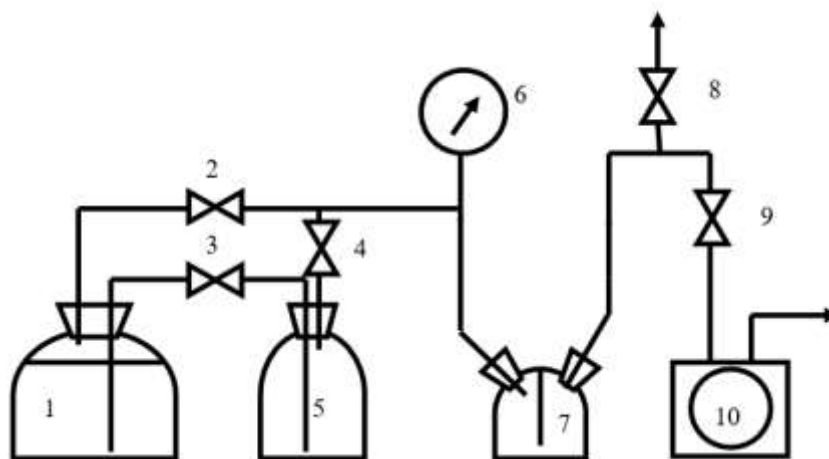


Рисунок 2.14 – Схема установки для насыщения образцов под вакуумом

1- емкость для вакуумирования керна (эксикатор), 2,3,4,8,9— вакуумные вентили, 5—емкость для насыщающей жидкости, 6— вакуумметр, 7—ловушка, 10—насос

2.2.3.5 Определение эффективной пористости керна

Согласно документу API RP40, эффективное определение пористости для неконсолидированных коллекторов может быть основано на двухэлементном методе измерения объема зерна по закону Бойля с гелиевым порозиметром. Пример используемого оборудования - DHP-100 (Weatherford). Альтернативой является использование методов, основанных на методе одной

ячейки по закону Бойля, для прямого измерения объема пор (пустот) [16]. Первый из методов, описанных выше, будет использован для дальнейших расчетов.

Определение пористости на основе газа для образцов неуплотненных горных пород выбрано на основе гелиевого порозиметра в соответствии с двухэлементным методом. В частности, можно использовать порозиметр DHP-100 производства Weatherford (Рисунок 2.15) или его аналог, который позволяет проводить измерения на образцах 30 мм и 1,5 дюйма, поскольку при замерах на данных установках не происходит деформаций образцов керна.

Расчеты по данному методу проводятся следующим образом:

Численное значение открытой пористости определяется как отношение объема пор в образце ($V_{\text{п}}$) к общему объему породы ($V_{\text{обр.}}$):

$$K_{\text{п}} = V_{\text{п}}/V_{\text{обр.}} \quad (2.1)$$

Общий объем рассчитывается по габаритам кернового образца при условии, что это геометрически правильный цилиндр. Объем пор находится как разность общего объема образца и объема твёрдой фазы ($V_{\text{тв}}$):

$$V_{\text{п}} = V_{\text{обр}} - V_{\text{тв}} \quad (2.2)$$



Рисунок 2.15 – Гелиевый порозиметр DHP-100

DHP-100 использует закон Бойля-Мариотта для измерения объема твердой фазы образца по расширению заданной массы гелия в калиброванной ячейке.

Закон Бойля-Мариотта: $(P_1 V_1) = (P_2 V_2)$

где P_1 – начальное давление, МПа;

V_1 – начальный объем, см³;

P_2 – конечное давление МПа;

V_2 – конечный объем см³;

Уравнение, применяемое для расчета объема твердой фазы, выводится из основного закона Бойля-Мариотта следующим образом:

$$P_1 V_K = P_2 \cdot (V_K + V_{ТВ.}) \quad (2.3)$$

$$V_{ТВ} = ((P_1 - P_2)/P_2) V_K \quad (2.4)$$

$$V_K = V_{K1} + V_{K2} \quad (2.5)$$

где V_{K1} , V_{K2} – емкости калиброванного объема, входящие в измерительную схему прибора.

С помощью калибровки относительно известных эталонов объема можно определить зависимость между объемом зерна и соотношением $(P_1 - P_2)/P_2$. Проводим измерение на установке DHP-100, получаем значение объема твердой фазы $V_{мин.}$

Пористость определяем по формуле:

$$K_p = V_{пор}/V_{обр}, \quad (2.6)$$

$V_{обр}$ – геометрический объем образца

$V_{пор}$ – объем пор

Для определения объема образца необходимо использовать истинные значения диаметра и длины:

$$V_{обр} = \frac{\pi \cdot d_{ист}^2 \cdot l_{ист}}{4}$$

$d_{ист} = d - 2 \cdot (\text{толщина пленки});$

$l_{ист} = l - 2 \cdot (\text{толщина тефлонового диска}) - 2 \cdot (\text{толщина сетки})$

Объем пор рассчитывается по следующей формуле:

$$V_{\text{пор}} = V_{\text{обр}} - V_{\text{ист}}, \quad (2.7)$$

Где $V_{\text{ист}}$ – истинный объем определяемый по формуле

$$V_{\text{ист}} = V_{\text{мин}} - V_{\text{составляющих}} \quad (2.8)$$

$$V_{\text{составляющих}} = m_i / \rho_i = \frac{m}{\rho} \{\text{термоусадка}\} + \frac{m}{\rho} \{\text{тефлон}\} + \frac{m}{\rho} \{\text{сетка}\}$$

Минералогическая плотность определяется по следующей формуле:

$$\rho_{\text{мин}} = m_{\text{ист}} / V_{\text{ист}} \quad (2.9)$$

Истинный вес образца $m_{\text{ист}}$ определяется как разность массы упакованного образца и массы всех его составляющих (термоусадочная пленка, тефлоновый диск, металлическая сетка).

2.2.3.6 Определение проницаемости

Определение проницаемости слабо консолидированных коллекторов на основе рекомендаций документа API RP40 должно основываться на газовом пермеамetre со стационарным режимом измерения проницаемости. Пример оборудования, которое может использоваться DGP-300 (Weatherford). Альтернативы этому методу, которые можно использовать для слабоцементированного керна, представляют собой уравнение Дарси с поправкой, основанное на испытании потока жидкости и известной пористости пород [7]. В качестве основного было рассмотрено применение первого из этих методов.

Таким образом, определение проницаемости образцов по газу на пермеамetre со стационарным режимом измерений должно проводиться на образцах 30 мм и 1,5 дюйма. При проведении замеров рекомендуется использовать давление бокового обжима в 400 psi.

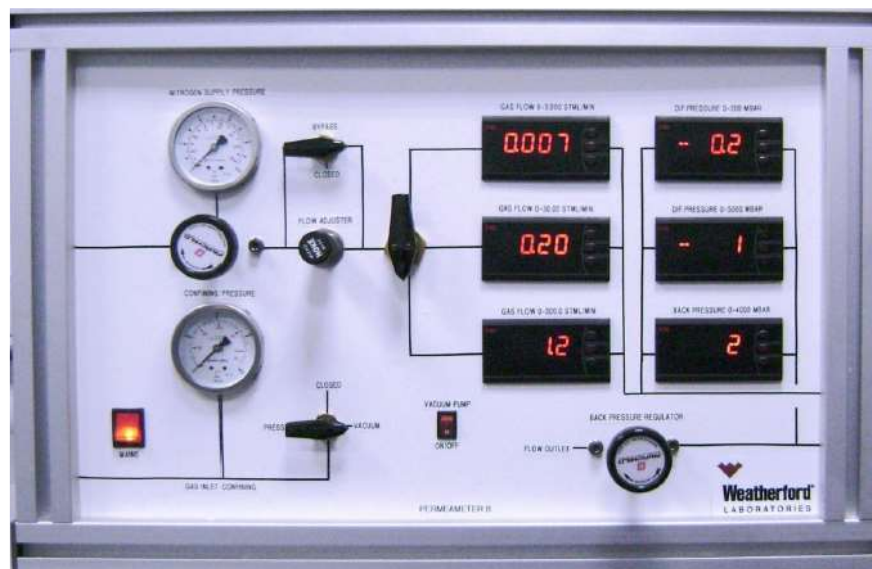


Рисунок 2.16 – Газовый пермеаметр DGP-300

Расчеты по результатам проведенных замеров должны проводиться следующим образом: В основу измерения газопроницаемости положен метод стационарной фильтрации. Газ (воздух, азот или гелий) пропускается через образец с известными размерами с постоянным перепадом давления между входом и выходом образца, или с постоянным расходом при установившемся перепаде давления. Проницаемость при установившейся фильтрации газа рассчитывается по формуле:

$$K_{np} = \frac{1000Q\mu L p_{бар}}{(p_1 - p_2) p_{cp} \cdot F} \quad (3.1)$$

где

K_{np} – проницаемость по газу, 10^{-3} мкм²;

Q – объемный расход газа, приведенный к среднему давлению в образце, при данном барометрическом давлении, см³/с;

P_1 и P_2 - абсолютные давления на входном и выходном сечениях образца, 0,1 МПа (бар); $P_{бар}$ – барометрическое давление, 0,1 МПа (бар);

$P_{cp} = (P_1 + P_2) / 2$ – среднее давление в образце, 0,1 МПа (бар);

μ – вязкость газа при условиях фильтрации газа через образец, мПа·с;

L – длина образца, см;

F – площадь поперечного сечения образца, см².

3 МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО РАБОТЕ СО СЛАБОСЦЕМЕНТИРОВАННЫМ КЕРНОМ

Полученный алгоритм работы со слабосцементированным керном мессохского типа был обобщен и кратко представлен в Таблице 3.1 в сравнении с известными стандартными методиками с дополнениями:

Таблица 3.1 – предлагаемая методика в сравнении со стандартной

№	Стандартная методика (РД 39-0147716-505-85)	Предлагаемая методика
1.	Бурение до верхней границы целевого пласта (800-1000 метров)	Бурение до верхней границы целевого пласта (800-1000 метров)
2.	Отбор кернового материала с использованием буровой головки PDC в стандартном дизайне и буровым раствором на водной основе.	Отбор кернового материала с использованием буровой головки “215,9/101,6 FC 3000” в дизайне LI и буровым раствором на полимерной основе.
3.	Система неизолированного отбора керна - приемная многоразовая или одноразовая алюминиевая труба с одинарной стенкой в керноотборном снаряде Недра	Система изолированного отбора керна - приемная одноразовая труба с двумя стенками из фибerglassа в керноотборном снаряде Риф с использованием губчатой системы сбора пластового флюида.
4.	Рычажковый или цанговый кернователь	Лепестковый кернователь с системой полного перекрытия кернового образца.
5.	Извлечение керна с двумя скоростными режимами: 1) с забоя скважины до 300 м – 360 м/час, 2) с 300 м до 45м – 120 м/час	Извлечение керна с четырьмя скоростными режимами: 1) с забоя скважины до 600м – 180 м/час, 2) с 600м до 300м – 90 м/час, 3) с 300м до 50м – 60 м/час, 4) с 50м до 0м – 15 м/час
6.	Спуск трубы с керном с бурового стола.	Спуск трубы с керном с бурового стола, предварительно зафиксированной в укладочной раме
7.	Отметка северного направления на трубе с керном	Отметка северного направления на трубе с керном
8.	Нарезка трубы с керном на метровые сегменты с использованием дисковой пилы или газовой горелки	Нарезка трубы с керном на метровые сегменты с использованием дисковой или ленточной пилы.
9.	Подготовка нарезанных сегментов трубы с керном к стабилизации	Подготовка нарезанных сегментов трубы с керном к стабилизации

Продолжение Таблицы 3.1

10.	Стабилизация керна с использованием полиуретановых пен под давлением	Стабилизация керна с использованием закладки гипсовой смеси либо заморозка до -50°C с использованием фиксаторов
11.	Керновый материал помещается в деревянные контейнеры	Керновый материал помещается в ударопрочные (или изолированные) контейнеры
12.	Доставка керна до аккредитованной лаборатории грузовым либо авиа транспортом в зависимости от доступной транспортной инфраструктуры)	Доставка керна до аккредитованной лаборатории грузовым либо авиа транспортом в зависимости от доступной транспортной инфраструктуры)
13.	Приемка керна в лаборатории – первичная проверка герметичности тубусов и их номеров. Регистрация образцов.	Приемка керна в лаборатории – первичная проверка герметичности тубусов и их номеров. Регистрация образцов.
14.	Помещение керна в морозильную камеру, охлаждение -192 °С с использованием жидкого азота	Помещение керна в морозильную камеру, охлаждение в два этапа до -35°C и до -50°C с использованием жидкого азота либо рефрижераторов
15.	Гамма-каротаж керна, первичное фотографирование образцов керна в видимом и УФ-спектрах.	Томография и гамма-каротаж керна, первичное фотографирование образцов керна в видимом и УФ-спектрах.
16.	Составление первичного отчета по результатам обзорных исследований керна с указанием интервалов отбора образцов для исследований и привязкой всего керна по глубине и данным ГИС.	Составление первичного отчета по результатам обзорных исследований керна с указанием интервалов отбора образцов для исследований и привязкой всего керна по глубине и данным ГИС.
17.	Обновление описания керна с учетом корреляции образцов по глубинам залегания и данным ГИС	Обновление описания керна с учетом корреляции образцов по глубинам залегания и данным ГИС
18.	Распиловка цилиндров вдоль направления отбора керна в соотношении 1:2 с последующим отбором образцов согласно ГОСТ 26450.0-85 (d=1,5”) для исследований методом бурения коронками с жидким азотом	Распиловка цилиндров вдоль направления отбора керна в соотношении 1:3 с последующим отбором образцов согласно ГОСТ 26450.0-85 и API RP 40 (d=1,5”) для исследований методами выдавливания и бурения коронками с жидким азотом
19.	Экстрагирование пластовых флюидов из образцов керна дистилляцией.	Экстрагирование пластовых флюидов из образцов керна дистилляцией в аппарате Сокслета согласно API RP 40
20.	Обессоливание керновых образцов при помощи бани с водой или ацетоном	Обессоливание керновых образцов при помощи бани с ацетоном или метанолом согласно API RP 40

Продолжение Таблицы 3.1

21.	Высушивание керна при помощи термошкафа либо вакуумной печи при $105\pm 2^{\circ}\text{C}$	Высушивание керна при помощи термошкафа либо вакуумной печи при $70\pm 2^{\circ}\text{C}$ согласно API RP 40
22.	Анализ текстуры и структуры керновых образцов и их гранулометрический анализ, анализ зерен, цемента и матрикса керна согласно ГОСТ-26450.2-85	Анализ текстуры и структуры керновых образцов и их гранулометрический анализ, анализ зерен, цемента и матрикса керна согласно ГОСТ-26450.2-85
23.	Определение открытой пористости согласно ГОСТ 26450.1-85 (не применимо для рыхлых пород)	Определение открытой пористости согласно API RP 40 методом Boyle's Law one-cell
24.	-	Определение эффективной пористости согласно API RP 40 методом Boyle's Law double-cell
25.	Определение проницаемости керна согласно ГОСТ-26450.2-85 с использованием пермеаметра по газу. Метод исследования - расчет по уравнению Дарси из уравнения стационарной фильтрации газа (не применимо для рыхлых пород)	Определение скорректированной проницаемости керна по газу согласно API RP 40 с использованием пермеаметра. Метод исследования - скорректированное уравнение Дарси по уравнению фильтрации газа
26.	Проведение исследований пластовых флюидов методом Дина-Старка и другими стандартными методами по ОСТ 153-39.2-048-2003	Проведение исследований пластовых флюидов методом Дина-Старка и другими стандартными методами по API RP 40 и ОСТ 153-39.2-048-2003
27.	Фотографирование керна в видимом и УФ спектрах после завершения лабораторных исследований	Фотографирование керна в видимом и УФ спектрах после завершения лабораторных исследований
28.	Оформление полного отчета о результатах исследования керна	Оформление полного отчета о результатах исследования керна

В вышеописанной методике были дополнены существующие и добавлены новые рекомендации по отбору, транспортировке и проведению лабораторных исследований керна. При их составлении был учтен состав пород рассматриваемого месторождения, их свойства и известные особенности, которые необходимо принять во внимание во избежание неточных и/или нерепрезентативных результатов.

Конкретное оборудование для проведения отбора керна и его лабораторных исследований может быть подобрано индивидуально исходя из

требований регламентирующих документов в методике. Общие рекомендации и примеры возможного оборудования были приведены выше в работе.

Необходимо отметить, что на данный момент в обязательном порядке требуется апробирование методики на практике для ее проверки и устранения возможных неучтенных и осложняющих факторов, а также снижения рисков. Прежде всего данные факторы потенциального риска и неопределенности в результатах работы могут возникнуть из-за ограниченности доступной актуальной информации о керне рассматриваемого типа, известных доступных возможностей для его отбора у конкретных компаний, а также ограниченности информации по имеющемуся лабораторному оборудованию, на котором должно будет в дальнейшем проводиться исследование керна.

Таким образом, в значительной степени еще требуется адаптация предлагаемой методики под конкретного исполнителя и его оборудование.

4 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ

4.1 Сегментирование рынка и основной потребитель

Исходя из направленности проекта и проблемы, которую он должен решить – основным потребителем являются нефтедобывающие компании и лаборатории, проводящие анализ слабосцементированного кернового материала. Предполагаемая модели реализации проекта B2B.

4.2 SWOT-анализ

Для оценки рисков в ходе реализации рассматриваемой методики как проекта необходимо провести SWOT-анализ, позволяющий грубо оценить сильные и слабые стороны как самого проекта, так и внешней его среды (Таблица 4.1)

Таблица 4.1 – матрица SWOT-анализа

Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
1. Большой вынос кернового материала пригодного для исследований 2. Более высокое качество вынесенного кернового материала 3. Возможность работы с керном III и IV категорий буримости. 4. Снижение неопределенностей для моделирования	1. Использование нестандартных методик, относительно существующих отечественных руководящих документов 2. Недостаточный объем данных для полной оценки экономики и реализации технической стороны проекта в России на данный проект (неопределенности)
Внешние возможности у проекта	Внешние угрозы для проекта
1. Принятие компаниями более совершенных методов отбора и исследования слабо консолидированного керна 2. Отсутствие в открытых источниках отечественных методик по работе со слабо консолидированным керном	1. Ограниченная доступность необходимого оборудования для реализации предлагаемой методики у отечественного производителя. 2. Потребность в более квалифицированном персонале относительно стандартных методик в силу большей технологичности

4.3 Бюджет выполнения работ

При расчете предполагаемого бюджета на выполнение работ по отбору керна, можно выделить три основные статьи расходов, а именно: материально-технические ресурсы, необходимые для выполнения работ, заработная плата сотрудникам компании, а также накладные расходы, которые не подходят под требования других критериев. Основные статьи расходов и затраты при проведении вышеперечисленных работ представлены в Таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Оценка стоимости отбора керна с одной скважины

Операции по предлагаемой методике	Цена, тыс. руб.
Бурение до верхней границы целевого пласта	2 500
Отбор керна	750
Извлечение керна	150
Спуск трубы с керном с бурового стола	25
Нарезка трубы с керном на метровые сегменты с использованием дисковой или ленточной пилы.	50
Подготовка нарезанных сегментов трубы с керном к стабилизации	50
Стабилизация керна с использованием закачки гипсовой смеси	367
Упаковка тубусов с керном в контейнеры	75
Доставка керна до аккредитованной лаборатории	150
Приемка керна в лаборатории	35
Помещение керна в морозильную камеру	25
Первичные исследования керна	48
Составление первичного отчета по результатам обзорных исследований керна	25
Обновление описания керна с учетом корреляции образцов по глубинам залегания и данным ГИС	60
Распиловка цилиндров керна и отбор образцов	48
Экстрагирование пластовых флюидов из образцов	88
Обессоливание керна	60
Высушивание керна	60
Гранулометрический анализ керна	184
Определение открытой пористости	48
Определение эффективной пористости	56
Определение скорректированной проницаемости	76
Проведение исследований пластовых флюидов	96
Фотографирование керна	56
Оформление полного отчета о результатах исследования керна	65
Накладные расходы	30
Сумма	5447

Для рассматриваемого расчета были взяты данные по стоимости операций из открытых источников [26, 29]. Необходимо отметить, что стоимость операций будет несколько снижаться при повышении числа скважин, из которых отбирается керновый материал по сравнению с тем же объемом работ на нескольких отдельных скважинах.

4.4 Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности

Экономический анализ эффективности предлагаемой методики был основан на предположении, что все необходимое для проведения отбора и исследования оборудования у компании уже есть, либо при его отсутствии будет заключен тендер на выполнение работ по отбору керна, его доставке и анализу в лаборатории. В Таблице 4.3 представлены расчеты для получения результатов анализа 250 образцов керновых проб.

При проведении расчетов был дополнительно сделан ряд условий и допущений, а именно:

- Керна необходимо отобрать для разведки нового лицензионного участка, скважины на нем отсутствуют, однако присутствует основная инфраструктура, расходы на которую не учитываются.
- Объем керновых образцов для создания первичной геологической модели и разведки нового лицензионного участка по условию составляет 250 единиц по внутренним требованиям компании.
- У компании есть собственные буровые бригады и все необходимое оборудование, для реализации требуемых технологий бурения, отбора, экстракции, подготовки и транспорта керна, либо был заключен договор с подрядчиком, имеющим все вышеперечисленное в наличии.
- Человеческий фактор и возможные ошибки и/или дополнительные расходы, связанные с ним, отсутствуют. При проведении работ требуемая обеими методиками технология полностью соблюдалась на всех этапах.

- При использовании импортного оборудования курс доллара и, как следствие, стоимость оборудования на российском рынке не меняются.
- Вынос керна не был уменьшен в связи с транспортировкой и/или потерей тубусов с керном. Тубусы были герметично запечатаны и не были повреждены в ходе доставки образцов до лаборатории.
- В лабораториях уже присутствует все необходимое оборудование для проведения анализа керна материала, которое не требует дополнительных затрат на его настройку, а также присутствует персонал, который может квалифицированно работать с этим оборудованием.

Таблица 4.3 – Расчет экономической эффективности для равного числа образцов

	РД 39-0147716-505-85	Предлагаемая методика
Необходимое число образцов	250	250
Число образцов на метр керна	13	13
Вынос керна, %	25	65
Длина отобранного керна	77	30
Пробуренные скважины для необходимого числа образцов.	13	5
Стоимость отбора бм керна, \$	37 500	57 500
Суммарная стоимость отбора, \$	450 000	287 500
Стоимость консервации керна, \$	2 500	8 500
Стоимость транспорта керна, \$	1 500	1 500
Полученные образцы керна, шт.	253	253
Стоимость исследований керна в лаборатории, \$	54 500	94 500
Общая стоимость, \$	508 000	392 000
Курс доллара (25.07.2020)	71,6	71,6
Общая стоимость, руб.	36 372 800	28 067 200

В связи с недостаточным количеством информации по стоимости конкретных операций для расчетов были взяты приближенные значения стоимостей аналогичных операций из открытых источников по ценам тендерных работ на бурение с отбором керна и дальнейшее проведение его лабораторного анализа [26, 29].

4.5 Потенциальные риски

Необходимо отметить, что существует большая неопределенность, связанная со значительным колебанием курса валют и сложным ценообразованием в текущей экономической ситуации. В связи с этим требуется внесение ряда поправок при расчете экономической эффективности предлагаемого решения применимо к конкретной компании.

5 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

При проведении оценке влияния вредных факторов на человека в ходе работ необходимо разделить их на три основных группы по степени влияния, а также причинам возникновения:

Первая группа включает вредные факторы, характерные для работ, проводимых непосредственно на буровой площадке. К ним относятся пониженная и повышенная температура воздуха, повышенная концентрация вредных веществ при работе использующегося оборудования и техники, недостаточная освещенность рабочей зоны, высокий уровень шума.

Вторая группа включает вредные факторы, характерные для работ, проводимых при транспорте керна непосредственно до лаборатории. К ним относятся воздействие повышенных и пониженных температур на человека, работа преимущественно в положении сидя, воздействие сильных вибраций на человека.

Третья группа включает вредные факторы, характерные для работ, проводимых в лаборатории. К ним относятся воздействие химических реактивов на организм сотрудников.

Дополнительно важно отметить, что на каждом из этапов работ могут произойти чрезвычайные ситуации, обусловленные человеческим фактором или отказом использующегося оборудования при проведении различных операций. В частности, возможен взрыв или возгорание углеводородов, разрушение использующегося оборудования с поражением окружающих людей, падение сотрудников с большой высоты, аварии транспорта, отказ вытяжного оборудования, поражение электрическим током, выбросы газов, например, попутного нефтяного.

5.1 Правовые нормы обеспечения безопасности проекта

Организация и проведение работ должны осуществляться в строгом соответствии с требованиями действующих руководящих документов и

регламентов. В частности, запрещается проводить любые работы на буровой без оформления всех необходимых документов, разрешающих их выполнение.

Сотрудники компании должны регулярно проводить инструктажи компании по технике безопасности, иметь спецодежду, спецобувь и средства личной защиты, предоставленные компанией. Все средства защиты должны иметь сертификаты соответствия [23].

Организационно-технические мероприятия на проведение работ на взрывопожароопасных объектах должны в обязательном порядке соответствовать требованиям безопасности компании и требованиям наряда-допуска. При проведении работ в лабораториях, сотрудникам необходимо следовать внутренним требованиям безопасности проведения работ и регулярно проходить инструктажи по технологической и пожарной безопасности.

При проведении работ в районах крайнего севера, сотрудники компаний имеют дополнительные льготы, закрепленные в законе «О государственных гарантиях и компенсациях для лиц, работающих и проживающих в районах Крайнего Севера и приравненных к ним местностях», что справедливо для рассматриваемого месторождения, как одного из наиболее северных, среди всех разрабатываемых в России.

5.2 Производственная безопасность проекта

На основе описанного выше, все опасные и вредные производственные факторы, которые могут возникнуть в ходе проведения работ, а также документы, регламентирующие снижение их воздействия на человека представлены в Таблице 5.1

Метеоусловия

Значительная часть выполняемых работ в ходе отбора, экстракции и подготовки кернового материала на буровой установке проводится на открытом воздухе в сложных климатических условиях крайнего севера.

Таблица 5.1 – опасные и вредные факторы

Опасные и вредные факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1. Метеоусловия	РД 102–011–89 Охрана труда. Организационно–методические документы.
2. Превышение уровня шума	СН 2.2.4/2.1.8.562–96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
3. Недостаточная освещенность рабочей зоны	ГОСТ Р 55710-2013 Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений ГОСТ Р 50571.3–2009 Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током
4. Повышенное содержание вредных веществ в рабочей зоне	ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны ГОСТ 17.2.3.02–78 Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями
5. Опасные факторы технологического характера при буровых работах	ГОСТ 12.2.232-2012 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Оборудование буровое наземное. Требования безопасности (Переиздание) РД 08-435-02 Инструкция по безопасности одновременного производства буровых работ, освоения и эксплуатации скважин на кусте
6. Опасные факторы электрической природы	ГОСТ 12.1.038–82* Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.
7. Воздействие химических реактивов при проведении исследований в лаборатории	ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения) ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности (с Изменениями N 1, 2)

Под климатом понимается совокупность физических параметров воздуха, включающая скорость движения, температуру, влажность воздуха, интенсивность солнечного излучения, атмосферное давление, которые влияют на тепловое состояние организма человека.

Для снижения воздействия данного фактора на сотрудников, необходимо выдать спецодежду, имеющую сертификат соответствия и позволяющую работать при температурах от минус 60°C до плюс 20°C, в зависимости от времени года. Комплект должен включать термоизолирующую одежду и обувь, средства защиты глаз, слуха, лица, головы, рук, дерматологические средства.

Профилактика перегрева и переохлаждения сотрудников в ходе проведения работ должна выполняться путем составления нормированного графика работ, предусматривающего периоды работы и отдыха, отвечающие требованиям рационального режима труда. Обязательно наличие возможности проведения сотрудниками своего свободного времени в зоне с нормальным микроклиматом.

Высокий уровень шума

В ходе работ по отбору, извлечению и подготовки керна к транспортировке используется большое количество спецтехники, оборудования и механизмов, которые при своей работе издают громкий шум, достигающий до 100-120 dB, который негативно сказывается на слуховом аппарате человека.

При выполнении работ, связанных с высокой точностью или ответственностью, оказывающей дополнительное психологическое давление на сотрудника, звуки, громкость которых ниже 80 dB оказывает лишь незначительное влияние на органы слуха. Однако, в соответствии с нормативными документами [25] при длительном воздействии шума громкостью более 85dB происходит постоянное повышение порога слуха, пагубно сказывающееся на человеке и обуславливающее постепенную потерю слуха человеком.

Для снижения влияния уровня шума на сотрудников возможно использование средств индивидуальной защиты сотрудниками, например, могут использоваться беруши и противошумные наушники.

Недостаточная освещенность рабочей зоны

В случае проведения работ в темное время суток должна быть обеспечена освещенность в объеме 150 лм для бытовых помещений и 300 лм для производственных и рабочих помещений [18]. В противном случае значительно повышается вероятность происшествий и утомляемость сотрудников, а также уменьшается их внимательность, в связи с повышенной нагрузкой на зрительный аппарат в условиях недостаточной освещенности.

Данная проблема может быть решена обеспечением равномерной достаточной освещенности в участках проведения работ в темное время суток. Обязательным условием является проектирования системы освещения таким образом, чтобы она не имела ослепляющего действия на сотрудников. Применимо к лабораториям и иным производственным строениям освещение должно быть обеспечено согласно общим нормам.

Повышенное содержание вредных веществ в рабочей зоне

При проведении комплекса работ, в атмосферу попадают пары природного газа, способствующие парниковому эффекту и способные вызвать кислородное голодание у сотрудника, оказавшегося в зоне выброса данного газа в атмосферу. Согласно регламентирующим документам ПДК основного компонента природного газа CH_4 в воздухе рабочей зоны не должна превышать $0,3 \text{ г/м}^3$ [12].

Для предупреждения негативного влияния паров углеводородов на сотрудников, в обязательном порядке должны выдаваться газоанализаторы воздуха, а также средства личной защиты.

При проведении лабораторного анализа кернового материала в связи с широким использованием органических растворителей и летучих химических реагентов, сотрудники в обязательном порядке должны проводить все

операции, подразумевающие открытую работу с реагентами, в вытяжных шкафах либо использовать средства личной защиты.

Опасные факторы технологического характера при буровых работах

В связи с выполнением большого количества технологических операций на значительном возвышении относительно поверхности земли существует опасность падения сотрудника с высоты более 3 метров в случае наличия не огражденной площадки.

Для предотвращения подобных ситуаций в обязательном порядке должны присутствовать ограждения всех объектов, находящихся на значительном возвышении относительно уровня земли перилами высотой не менее 1.1 метра от уровня площадки. Дополнительно для сотрудников, проводящих работы на значительном возвышении, обязательно использование страховочных комплектов с бирками, где должна быть указана дата последнего их тестирования.

Опасные факторы электрической природы

В ходе проведения работ возможны ситуации поражения сотрудников электрическим током, результатом которых будут ожоги 1-3 степени, пребывание в шоковом состоянии, нервное расстройство и в отдельных случаях возможен смертельный исход.

Для предотвращения подобных ситуаций все установки, инструмент и оборудование, которые используются в процессе выполнения работ в обязательном порядке должны быть заземлены отдельным электрически кабелем с сечением жилы не менее 2 мм² [17]. Дополнительно до начала проведения работ сотрудникам необходимо проверять качество выключателя, наличие заземления, отсутствие повреждений у питающего кабеля, исправность вилки подключения оборудования.

Опасные факторы при грузоподъемных работах

Процессами повышенной опасности в ходе грузоподъемных работ является монтаж буровой колонны, прием керноотборного устройства с

пробой керна, спуск керна с буровой платформы и погрузка/выгрузка ящиков с образцами керна в грузовые автомобили.

Для предупреждения травматизма и несчастных случаев в ходе работ, все грузоподъемные операции должны проводиться под руководством мастеров, несущих ответственность за безопасное перемещение грузов и имеющих соответственный аттестат. Кроме того, обязательно соблюдение техники безопасности всем инженерно-техническим персоналом.

5.3 Экологическая безопасность проекта

Проведение работ по отбору керна и его исследованиям должно в обязательном порядке выполняться в соответствии с требованиями руководящих документов и законов, направленных на охрану окружающей среды.

Воздействие на атмосферу

Для снижения объема испарений углеводородов и химических веществ в атмосферу необходимо проверять герметичность используемых закрытых емкостей. Применимо к процессу бурения рекомендуется использовать противовыбросовое оборудование.

Общий выход вентиляционных потоков из лаборатории в обязательном порядке должен проходить фильтрацию при помощи очистных установок для минимизации воздействия на атмосферу паров используемых летучих реагентов, например, растворителей. В качестве фильтрационного агента может использоваться активированный уголь или иные более технологичные адсорбенты [14].

Воздействие на литосферу

При выполнении комплекса технических работ возможно попадание углеводородов и иных загрязняющих веществ в литосферу с работающего оборудования или в случае возникновения ЧП. В связи этим на всех этапах проведения работ необходимо выполнять мероприятия, предотвращающие

загрязнение территории отходами, появление неблагоприятных эрозионных процессов, а также возможные возгорания.

Для проведения работ по отбору образцов керна, все работы должны проводиться в пределах отведенной площадки для уменьшения возможного вреда окружающей среде. По окончании выполнения работ необходимо полностью вывезти весь производственный мусор, включая изоляционные материалы, металлолом, пластмассы и т.д.

Воздействие на гидросферу

При проведении отбора кернового материала и его подготовки к транспортировке возможно попадание химических реактивов, горюче-смазочных материалов и углеводородов по естественным водостокам в водные объекты поверхностного и глубинного характера.

Для предотвращения подобных ситуаций необходимо исключить слив отработанного масла, разлив горюче-смазочных материалов, мойку механизмов и автотранспорта в неустановленных для этого местах, оснащенных емкостями для сбора отработанных ГСМ и инвентарными контейнерами для строительного мусора. [13]. Следует предусматривать заранее систему сбора и последующую утилизацию буровых флюидов и иных отработанных технических составов. Недопустимо попадание неочищенных стоков в водоемы.

Для химических лабораторий в обязательном порядке необходим сбор и утилизация полученных технических жидкостей и смесей с отработанными реактивами.

5.4 Безопасность в случае чрезвычайных ситуаций

При проведении работ при добыче и экстракции образца керна возможны чрезвычайные ситуации, в связи с чем необходимо предусмотреть ряд мер, предупреждающих их возникновение, либо минимизирующие побочный ущерб в ходе данного события.

В ходе работ по получению керна необходимо строго соблюдать требования техники безопасности, исходя из перечня утвержденного перечня нормативных документов, а также особенностей проведения того или иного типа работ.

Для исключения возникновения выбросов и прорыва жидкостей в гидравлической системе в системе в обязательном порядке должно присутствовать противовыбросовое оборудование и предохранительные клапаны с дренажными емкостями. Вокруг рабочей площадки должна присутствовать обваловка грунтом.

Для ликвидации последствий теоретически возможной аварии должен быть разработан план ликвидации ее последствий и мер, необходимых для минимизации ее влияния на окружающую среду и персонал. Планы ликвидации должны составляться с учетом наличия аварийной техники, ее состояния и количества кадров.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Керн Мессояхского типа пласта ПК₁₋₃ относится к слабосцементированным, имеет III / IV группу по буримости и I / II группу по структурно-текстурным признакам. Имеет средний вынос 40-80%, из которых в среднем только 27% пригодно для проведения лабораторных исследований.

Текущие действующие регламентирующие работу с керном документы в России не способны обеспечить высокое качество операций при работе со слабосцементированным керновым материалом. Как результат – неудовлетворительное качество отобранных образцов и высокие финансовые затраты для получения достоверной репрезентативной информации после проведения лабораторных исследований керна.

В работе были рассмотрен керн Мессояхского типа и определены общие методические рекомендации для полного цикла работы с ним, начиная от успешного отбора проб и заканчивая проведением лабораторных исследований. Предполагаемый средний вынос кернового материала, пригодный для проведения лабораторных исследований должен составить не менее 65%.

Была оценена экономическая составляющая работы, однако в связи с недостаточным количеством данных в открытых источниках и нестабильной экономической ситуацией, как следствие сложному курсу валют и ценообразованию в настоящее время, в дальнейшем необходимо провести уточнение данных.

Были оценены основные риски и неопределенности в работе, которые требуют решения для повышения качества результатов при использовании предлагаемой методики на практике. Указаны причины и возможные решения для рассмотренных рисков для снижения неопределенности результатов.

Результаты работы могут в значительной степени повысить качество моделей, использующихся в процессе разработки месторождений со слабосцементированным керном, являющимся наиболее проблематичным в отборе и получении достоверной геологической информации.

Для подтверждения рекомендаций, повышения качества методологических операций и увеличения экономической эффективности, предлагаемая методика требует апробации на практике с последующей адаптацией под используемое оборудование в конкретных компаниях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Битнер А.К., Прокатен Е.В.: Методы изучения коллекторских пород и флюидов. Учебник Красноярск, Сибирский федеральный университет 2018.
2. Данные лабораторных исследований компании ТННЦ за 2014 год. [б.и.]
3. Отчет компании Шлюмберже «Исследование влияния замораживания породы на ее физические свойства» в рамках работы по договору №810-10 от 23.12.2010.
4. Промзев И.О., Купоросов Д.Н., Брусиловский А.И., Чухланцева Е.Р., Тихомиров Е.В. Особенности свойств нефти в пласте ПК1-3 Восточно-Мессояхского месторождения. // Газовая отрасль, № 11. - 2015.
5. Синокок. К.: «Подробные инструкции по выбору, обработке, хранению и транспортировке керна», 15 апреля 2008, ВР.
6. Чухланцева Е.Р., Комплексирование методов литофациального и геолого-геофизического моделирования в целях геометризации верхнесеноманских залежей мессояхской зоны нефтегазоаккумуляции: диссертация, ТПУ, 2016.- 208 с
7. API RP40 Recommended Practical Core Analysis, American Petroleum Institute, 1998.
8. Clothier A.T., Mattax C.C., McKinley R.M. “Core Analysis of Unconsolidated and Friable Sands”, , SPE-AIME, Exxon Production Research Co, SPE 04896.
9. Garcia J.V., Rousseau J. , Dourel D. , “Well site core stabilization and packaging - the first step in acquiring undisturbed core”, Kirk Petrophysics, ltd., SCA2010-35.
10. Rousseau J., Ollivier F., Parker S.. The freezing procedure is the key to a successful formation assessment program - how to ensure that core samples are kept frozen throughout the processing and transportation phase. Kirk Petrophysics, Ltd SCA2011-40.

11. Walker R.G., James N.P. "Facies models. Response to sea level", Hamilton and Kingston, Canada - GeoText 1, 1992. - 454 с.
12. ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны/Гостехнадзор России – М., 2005.
13. ГОСТ 17.1.3.05-82 Охрана природы (ССОП). Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных и подземных вод от загрязнения нефтью и нефтепродуктами – М., 1982.
14. ГОСТ 17.2.3.02–78 Охрана природы. Атмосфера. Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями – М., 1980.
15. ГОСТ 26450.0-85 «Породы горные. Общие требования к отбору и подготовке проб для определения коллекторских свойств». – М., 1985.
16. ГОСТ 26450.2-85 «Породы горные. Метод определения коэффициента абсолютной газопроницаемости при стационарной и нестационарной фильтрации.». – М., 1985.
17. ГОСТ 12.1.038–82 Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов. – М., 1983.
18. ГОСТ Р 50571.3–2009 Требования по обеспечению безопасности. Защита от поражения электрическим током/ ВНИИНМАШ – М., 1994.
19. ОСТ 39-181-85 Нефть. Метод лабораторного определения пористости углеводородосодержащих пород.
20. Р Газпром 065-2009 Методические рекомендации по проведению, обработке, хранению и представлению результатов литолого-петрографического исследования керна.
21. РД 153-39.0-069-01 Техническая инструкция по проведению геолого-технологических исследований нефтяных и газовых скважин.
22. РД 39-0147716-505-85 Порядок отбора, привязки, хранения, движения и комплексного исследования керна и грунтов нефтегазовых скважин.

23. ПБ 08-624–03 Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности/Гостехнадзор России – М.,2003.

24. СК № П1-01 СЦ-043 «Порядок организации отбора, транспортировки, хранения и комплексного исследования кернового материала при геологоразведочных работах и разработке месторождений углеводородов».

25. СН 2.2.4/2.1.8.562–96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки – М., 1996.

26. Геологическая лаборатория [Электронный ресурс] // Прейскурант на проведение лабораторного анализа кернового материала. URL : <https://geolabs.co.uk/tests-categories/>. (дата обращения 20.06.2020).

27. ИД «Нефть и капитал», [Электронный ресурс] // Мессояхское месторождение, отчет компании ПАО «Газпромнефть». URL : <https://newia.test.uramedia.ru/article/tilda/20-09-2017/osvoenie-messoyahi>. (дата обращения 20.06.2020).

28. ПАО «Газпромнефть», [Электронный ресурс] // Мессояхское месторождение. URL : <https://www.gazprom-neft.ru/company/major-projects/messoyaha/>. (дата обращения 20.06.2020).

29. Ростендер. [Электронный ресурс] // Стоимость выполнения работ на тендерной основе по бурению скважин и отбору проб керна. URL : <http://rostender.info/category/tendery-na-burenie>. (дата обращения 20.06.2020).

30. Course hero [Электронный ресурс] // Gel Coring System SM materials. URL : <https://www.coursehero.com/file/23996029/603-004PDF/> . (дата обращения 20.06.2020).

31. Halliburton company [Электронный ресурс] // Буровые головки в дизайне Low invasion. URL : <https://www.halliburton.com/ru-ru/products-services/drill-bits-services/coring-services/standard/systems/low-invasion-coring-system.html>. (дата обращения 20.06.2020).

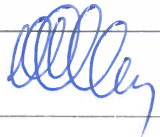
Приложение А

**The data fusion of poorly consolidated Messoyakhsky type reservoir core with
the view to develop an optimal design for reservoir development**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ТМ81	Юркин Александр Александрович		14.08.20

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОНД	Чернова О.С.	Д.Г. — М.Н.		14.08.20

2 PROPOSED SOLUTION

2.1 Solution for existing problems in coring

2.1.1 Solution for problems in drilling

The problem of core cracking during drilling of unconsolidated rocks and significant invasion zone depth of the drilling mud can be solved with usage of special PDC-based drill bits in the low invasion (LI) design. For example, 215.9 / 101.6 FC3000, Halliburton. A comparison of the drill bits is shown in Figure 2.1. A triangle section of the LI bit allows to achieve a minimum depth of invasion zone in the core. Especially it should be useful with high cavernous Mesoyakha type reservoir.

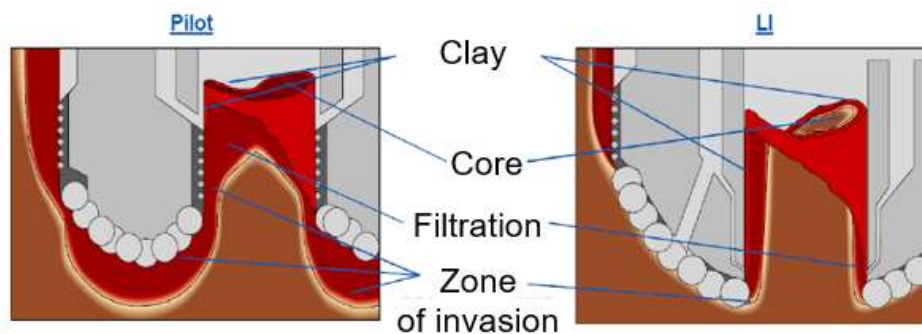


Fig. 2.1. – Low invasion (LI) drilling bit in comparasing with standard drilling bit [31]

In order to reduce the influence of drilling mud on the core sample with high cavernousness and fracture of the reservoir, the use of a neutral insulating agent is necessary. The most simple solution is the usage of non-polar oils which are not miscible with reservoir oil.

An alternative is the usage of inert gels based on polyacrylamide, shown in Figure 2.2. However, this technology has several drawbacks. In particular, it may be difficult to completely separate the gels from the cavernous core sample without partially destroying it or changing the properties of the sample if the gel penetrates deep into loose highly cavernous or highly fractured rocks. Examples of such technologies are SK-178/100 LONG -01 LLC NPP Burintekh with Isocor isolating

agent and KOS UKR 185/100 TENGIZ with PAA agent and GelCoring technology from Baker Hughes [30].

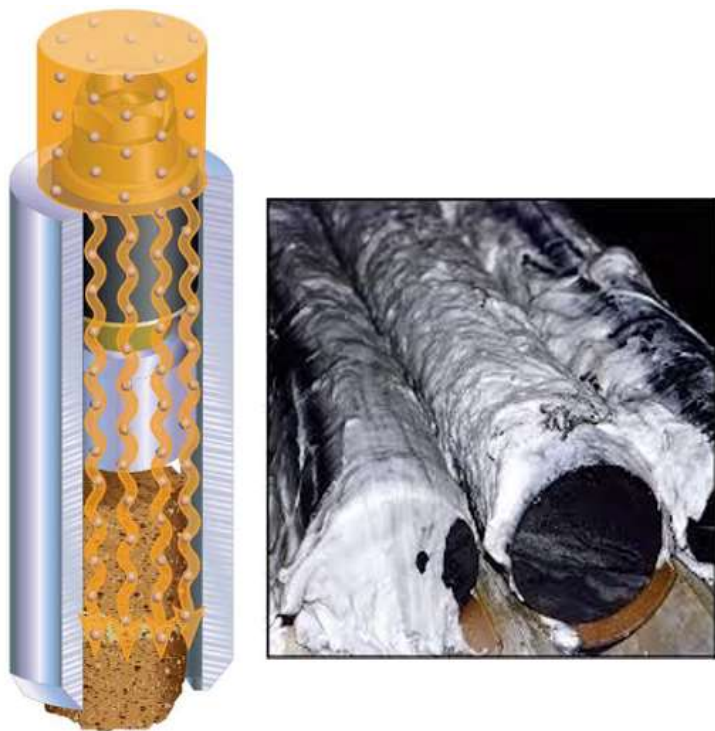


Fig. 2.2. – Core isolation with inert gels GelCoring technology [30]

A comparison of the fluid content in the core sample using the GelCoring technology in comparison with the standard core sampling is shown in Figure 2.3.

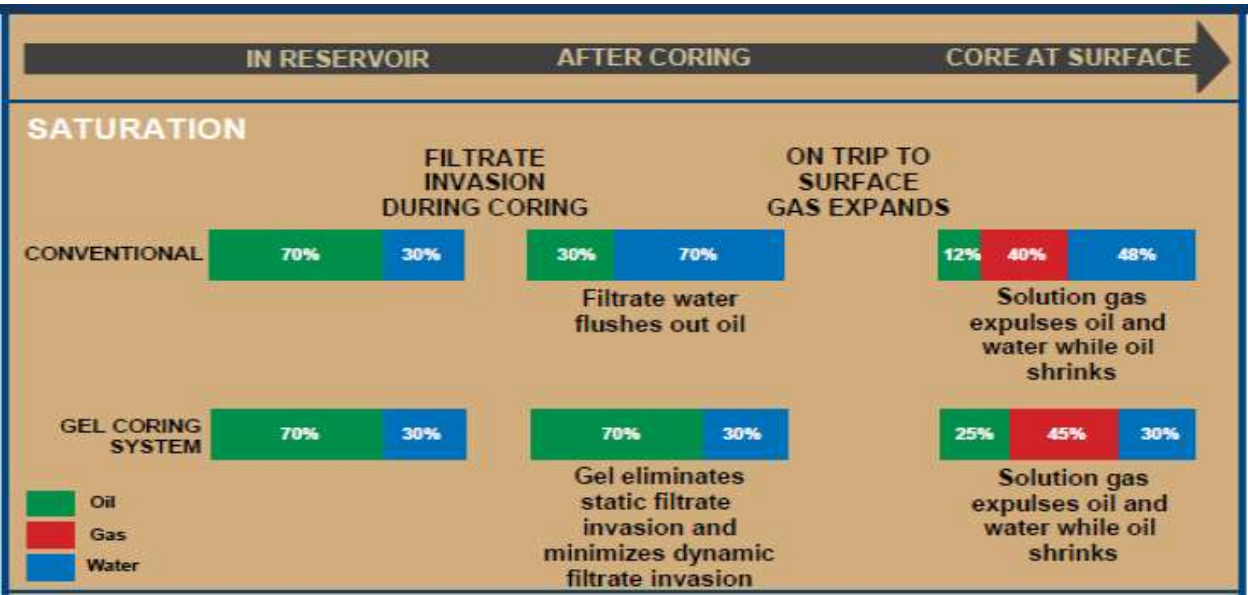


Fig. 2.3. – Core isolation with inert gels [30]

An alternative method of preserving the content of reservoir fluids in the core sample is to retain the fluids of the core sample using a sponge system based on polyurethane with a two-pipe sampler, figure 2.4. This solution allows to reduce the loss of reservoir fluids before the conservation and extraction of the core sample. In the course of drilling, in this case, it is assumed to use polymer drilling fluids based on montmorillonite clay content in the Mesoyakha core type.

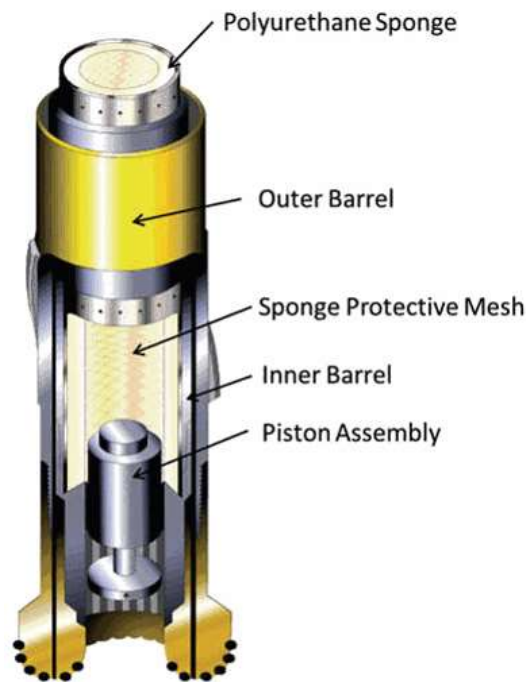


Fig. 2.4. – Usage of polyurethane sponge [30]

This technology is less effective in preserving formation fluids in core material relative to the use of polymer gels. However, it is less costly and much simpler to use. A significant advantage of this technique is the lack of need for further core cleaning from the polymer film.

2.1.2 Solution for problems in coring

To improve the quality of core sampling from unconsolidated formations, it is better to use fully-closed coring systems that use internal coring pipes (tubes) equipped with a special coring system for coring complex rocks that have two main

functions: ensuring coring quality by physically supporting coring material during drilling and its subsequent preservation.

This technology allows the core receiver to slide on the surface of the loose core with minimal damage to the core, sealing the core from below, inside the core receiver, preventing the possibility of core sticking in the pipe and its loss.

Core receiver tubes are inserted inside a traditional core receiver and held by a core grabber and friction force. Standard tubes have a maximum length of about 9 meters, for special purposes shorter segments are used.

For the rocks with different physical and mechanical properties and drilling conditions, core receiving devices of the following series are used: Nedra, Cambrii, Silur, Tengiz, Reef, Plutonium, and MAG (table 2.1).

Table 2.1 - Core receiving devices according to TU 3664-007-70587573-2009

№	Coring shells (CBS)	Core	Core diameter, mm	Category of difficulty
1.	«Nedra»	Uncomplicated drilling conditions	52, 67, 80, 100	I
2.	«Silur»	Scree, landslides, guttering, tacking	52, 80	III
3.	«Cambrii»	Loose, poorly cemented, fractured rocks	67, 100	III
4.	«Tengiz»	gas and oil manifestations, absorption	100	III; IV
5.	«Reef»	Friable, loose, highly fractured, reefogenic rocks	120	III; IV
6.	«MAG»	Hard, consolidated, abrasive	60	I
7.	«KIM»	Weakly cemented rocks	52, 80, 100	III
8.	«Lainer»	Weakly cemented, loose rocks	80, 100	IV; III
9.	«Structura»	Unlit bottom sediments during offshore exploration drilling	57, 80	IV
10.	«Plutonium»	Very loose, crumbling strongly fractured rocks	80;100	III - IV

Along with domestic samples for these rock categories, foreign production sampling techniques are used in rock drilling practice (container-type coring shells,

shells with a rubber sleeve, shells with a fully closed core receiver of the EU HYDRO-Lift system and similar DBS systems).

To solve the problem of core destruction during its extraction after completion of the drilling process, it is necessary to use special core sampling shells. This requirement is based on the fact that the standard shells used (according to the CBS scheme type KIM 190.5 / 215.9) after removing the inserts allow the destruction of unconsolidated core, what is unacceptable [21].

Therefore it should be used the core-receiving devices with angle breaking-off units based on CBS Reef UKR-195-120 (or CBS Lainer) with fiberglass core-receiving pipes or any analogs of foreign solutions.

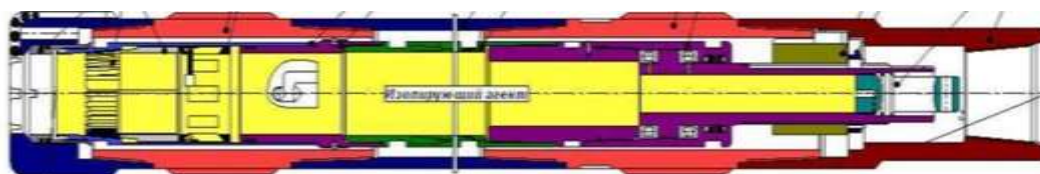


Fig. 2.5 - A special core-receiving device of the "Reef" type [1]

To increase the efficiency of core drilling, it is important to know the geological features of the section and take them into account when selecting the type and design of a core sampling tool.

2.1.3 Solution for problems in core extraction

To solve the problem of root destruction when it is raised from the well, conservation of core material is required while maintaining conditions as close as possible to the initial ones in the formation. This is possible with the use of two wall core-receiving pipes made of fiberglass or aluminum and special core-receiving equipment, for example, CBS “Reef”.

An alternative, without the possibility of preservation of the core sample during its collection, is a change in the rate of rise of the coring shell. In this case, it is necessary to take into account the degassing point and the gas fluid factor in the core sample. For oil-saturated reservoirs, the ascent rate from the bottom of the well

is recommended at 240 meters per hour, and when rising to a depth of 150 meters - 120 meters per hour. Starting from a depth of 150 meters - 36 meters per hour.

In addition, in order to avoid deformation of the core pipe during its descent from the rotor table to the receiving bridges, it is necessary to use a wooden or metal laying frame, which prevents pipe bending and core deformation during its descent. Examples of core after various descent of the pipe are presented in Appendix 4.

2.1.4 Solution for problems in the preparation of core for transportation

According to standard technology, single-use pipes after lifting from the well are cut using circular saws with a disk diameter of 355-360 mm into meter sections, as shown in Figure 2.6. It is most desirable to use band saws instead of cutting machines, due to the lower impact load on the core during the cutting process, as well as less vibration load.

The ends of the resulting tubes are closed with caps with a diameter corresponding to the diameter of the pipes and fixed with clamps, which protects the core from drying and destruction. Subject to the technology of selection in fiberglass pipes, the weakly consolidated, friable, fractured core remains unchanged.



Fig. 2.6 - Segmentation of a core pipe

To solve the problem of the destruction of core material during transportation, it is necessary to use segmented tubes, as well as to preserve the core by filling core pipes with with a stabilizing inert agent. This will prevent damage and deformation of the rock sample during transportation. As fixing compositions it is possible to use polyurethane foam, non-polar oil, polyacrylamide paste or a gypsum mixture (an example is the composition of Reslab together with Norske Shell, Norsk Hydro, Norsk Agip). Advantages and disadvantages of various methods are presented in Appendix 5.

When selecting preservative compounds, several mandatory conditions must be observed: the compositions must be safe, easy to remove and do not change both the composition and properties of the rocks. Based on the components of the core material, the best way is to use a gypsum mixture as an inert agent that can be easily removed from the rock sample. It is also possible to use polyurethane foam injected under pressure, Figure 2.7.



Fig. 2.7 - Preservation of core tubes with polyurethane resin

An alternative is the combined core freezing using liquid nitrogen with preliminary application of core fixation using the «Plastic strip» technology (Figure 2.8). The purpose of using such technologies is to minimize core displacement relative to each other without the use of preserving compounds, as well as to reduce the impact of impact loads during core transportation.

It must be taken into account that at freezing temperatures below -35°C , changes the rock structure. According to a Schlumberger study [3], predicting structural changes in core samples at temperatures below -50°C is extremely problematic. In this regard, freezing using liquid nitrogen to -197°C can lead to a significant change in the results during laboratory studies.



Fig. 2.8 - Core stabilization using Plastic Strip (Baker Hughes) technology

In addition, for the delivery of core material, it is necessary to use special boxes with spacers from damping materials and cutouts for tubes with core. An example of such a box is shown in Figure 2.9.



Fig. 2.9 - A special box for the transport of core tubes

Using standard boxes made of wood or impact-resistant plastic, it is necessary to additionally lay them with thin sheets of shock-absorbing material, for example, foam rubber with a thickness of 5-10 mm. In the case of using freezing technologies for core preservation, for transportation it is necessary to use thermally insulated trailers, which allows maintaining optimal storage conditions for the material [5, 10].

Core transportation to the laboratory for further analysis is possible by trucks with at least a dirt road and the necessary transport infrastructure. An alternative, it is delivering core using a helicopter to the nearest transport point.

2.2 Solution for problems with laboratory core analysis

2.2.1 Core acceptance

At all stages of work with unconsolidated (weakly cemented) core, it is necessary to completely exclude shock effects on the tubes with the core and on the core itself. After receipt of the core, it is necessary to accept it. The procedure is described in table 2.2

Table 2.2 - The procedure of core material acceptance

№	Work in progress at this step
1	Compare the core quantity with the core sampling report, and make sure that the core material was not lost during transportation. Indicate all damage and deformations of the core that occurred during work with the core in the well and during transportation.
2	Check for compliance with the total depth the numbering and order of transport containers.
3	Check for tube markings.
4	Assess the tightness of the tubes.
5	At the end of the core survey, draw up a core inspection report in duplicate.

2.2.2 Preparation of the core for research

At the initial stage of work, after completion of the core acceptance process and registration of the obtained samples in the database, it is necessary to carry out primary measures. The purpose of specialized preparatory work is to obtain information about the quality of the core, about its binding to the logs and depth, to carry out preparatory work for research, to clarify the places of sampling. The main objectives that should provide the required result upon their completion are presented in table 2.3:

Table 2.3 - The order of core material preparation for research

№	Work in progress at this step
1	Core tomography, express processing of results;
2	Profile gamma-ray logging;
3	Linking the core to the log results, sending the results to the Customer;
4	Clarification of core orientation by bedding;
5	Clarification of sampling locations at: • Determination of oil saturation (if this is not done in the field); • Definition of geomechanical studies on full-size samples; • Production of samples by indentation (drilling on "dry"); • Production of standard samples with freezing; • Production of samples for stream experiments; • Production of standard samples for geomechanical studies (with dimensions in the ratio of diameter to length 1:3);
6	In accordance with the requirements of the program, the first to produce samples are the indentation method on unfrozen core (as well as samples using the "dry" drilling technology);
7	After core freezing, samples are made for stream experiments;
8	Core sawing;
9	The core is photographed in white and ultraviolet light;
10	Standard samples are produced, as well as samples for geomechanical studies
11	A layered (if necessary, sedimentological) description is performed;
12	The spent core is placed for long-term storage in the frozen state of the cryokung (for a period of up to 6 months, temperature -25 ° C).

2.2.2.1 Obtaining primary information about core samples

Tomography is recommended for mandatory use by experts from BP, CoreLab, Weatherford, Shell. As equipment for its implementation, an X-ray tomograph HD360-16 from Universal Systems or its analogue can be used.

Unconsolidated core tomography should solve the following problems:

Quality control of selected core

Refinement of core binding to log data (complex intervals, with ambiguous alignment according to the gamma ray log)

Core orientation by bedding

The choice of intervals for the manufacture of samples by indentation

The choice of intervals for the manufacture of full-sized samples

Selection of sampling locations for streaming experiments

Selection of sampling sites for geomechanical studies

Selection of sampling sites for petrophysical studies

At the end of the work, photographs for each tube along the core axis (in the XZ and YZ planes) and perpendicular sections in the most interesting areas (from 2 to 10 sections per 1 meter) should be provided as a standard report form. The text part of the report should contain a determination of the x-ray density along the core, a qualitative and quantitative assessment of the cracks, and information about the bedding [21]. An example of the results of tomographic imaging is presented in Appendix 6.

The construction of structural 3D core models based on photographs obtained during tomography is theoretically possible, however, no equipment or software was found that could realize this task for further use in modeling.

2.2.2.2 Linking the core data to well log data and depth

It is necessary to measure the natural radioactivity of the core to complete depth positioning of core to the log data. To accomplish this task, it can be used SPGL-300 equipment which is designed by Core Laboratories Instruments or its equivalent.

The core speed relative to the detector during measurements is recommended to be set in the range of 0.1-0.15 m / min for weakly consolidated core in order to improve the quality of research results.

Gamma-ray research solves the following problems:

Determination of total radioactivity (API),

Determination of the content of radioactive elements of potassium (%), uranium (ppm), thorium (ppm)

Determination of density of the studied core (gamma-gamma-ray logging)

Comparison and alignment of core curves with the GR curve from the log data.

Correction of the obtained results in depth, in order to eliminate errors caused by the presence of transport plugs on the tubes (leading to a fictitious lengthening of the core column) and the core to the depth of drilling and well logging

Creation of a combined lithologic-and-petrographic plot with a description of the results of the study.

As a standard report form, a table of measured core parameters is created with reference to a certain depth, as well as a lithologic-and-petrographic plot with reference to core material to the depth of sampling and well logging.

2.2.2.3 Core preparing for laboratory tests

Each oil company and laboratory center have their own established practices for working with unconsolidated core. However, due to the lack of recommendations in the domestic regulatory documents for conducting studies of unconsolidated core, it was decided to take API PR40 as the basis that best describes the recommended work practices.

It is important to note that there are no established recommendations in domestic practice for the preparation of the core for the samples gaining. The degree of influence of freezing on the reservoir properties of rock samples has not been fully explored, but the publications note that freezing changes the internal structure of grains, affecting permeability and porosity in an unpredictable way. Quick freezing

leads to a high temperature difference between the surface and the inner part of the samples, increasing the pressure within the samples and, as a result, leading to cracking [9, 10].

Foreign researchers recommend the following sequence: first, the core is frozen to a temperature of -25°C , then to a temperature of -57°C or even -80 [7, 9, 10]. According to Schlumberger recommendations, core samples should be frozen at temperatures not lower than -35 degrees for weakly cemented reservoirs. This is due to the significantly increasing effect of low temperatures on the pore structure of images at the intersection of a given temperature mark [3].

At the same time, for conducting rapid studies it is often necessary to use liquid nitrogen. The main disadvantage of the freezing stage in liquid nitrogen is the destruction of the strength of the skeleton grains and clay particles.

It is supposed to store frozen core for a long period of time (about six months) in a specialized thermo-container, the refrigeration unit of which will allow maintaining the temperature of -35°C all year round.

2.2.2.4 Core sawing

It is necessary to cut cylinder core samples after completion of the freezing process for tests. The sawing process should be done with a band saw due to a clean cut, the possibility of cutting large diameters of samples, high speed and low impact load on the core.

Sawing tubes with core is carried out in a ratio of 1:3. The sawing scheme is shown in Figure 2.10. After samples taking, may be done a second saw cut. The first core cut 1-inch (2.54 cm) thick is placed on a flat tray and poured with epoxy. This part is intended for long-term storage. Storage of thin sections is more advantageous in terms of costs for occupied space, but the costs for implementation are higher.

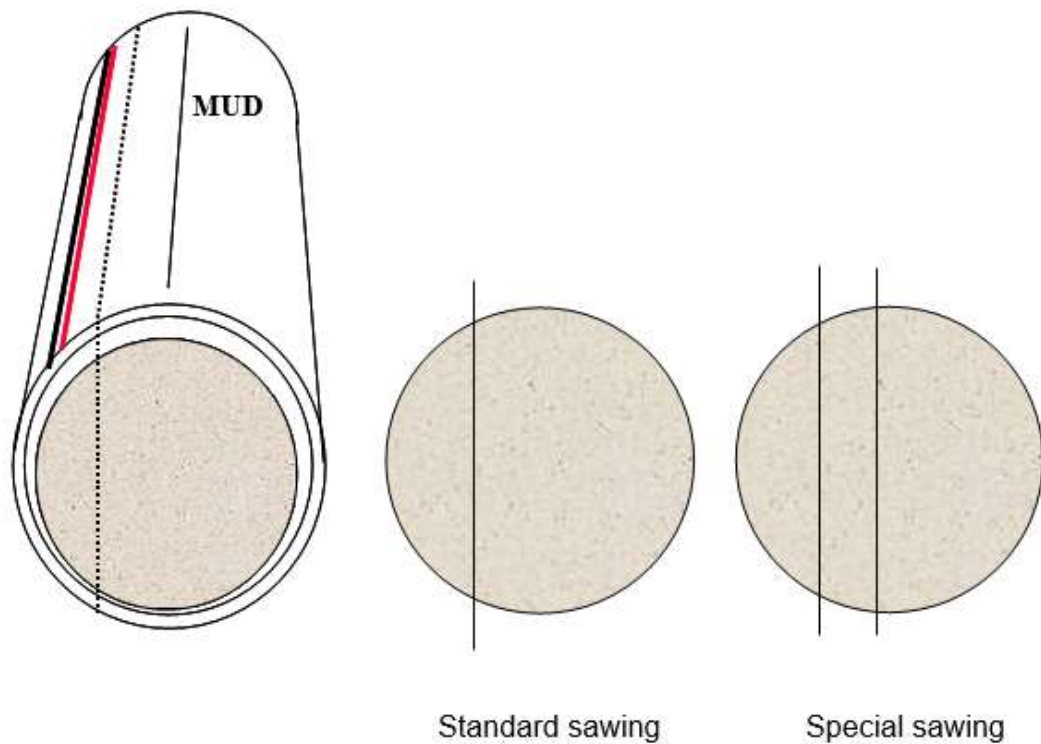


Fig. 2.10 – Laboratory core sawing scheme [21]

The second part of $\frac{2}{4}$ of the core thick is wrapped with plastic along, with a mandatory fixation and placed back in the freezer. The third $\frac{1}{4}$ thick part of the core enters the photographing area, after which it is placed in the freezer similarly to the first part.

2.2.2.5 Sampling from core material for research

Samples drilling areas are identified by computed tomography and core-log analysis. It is especially important to clarify the direction of bedding. It is necessary to highlight the main lithotypes found in the core. In each lithotype, it should be performed a extrusion of samples by the pressing-in method. If the quality of the samples is unsatisfactory, such intervals are marked as the target for the sampling with drilling equipment after core freezing with liquid nitrogen. Typical core sampling scheme is shown in Figure 2.11.

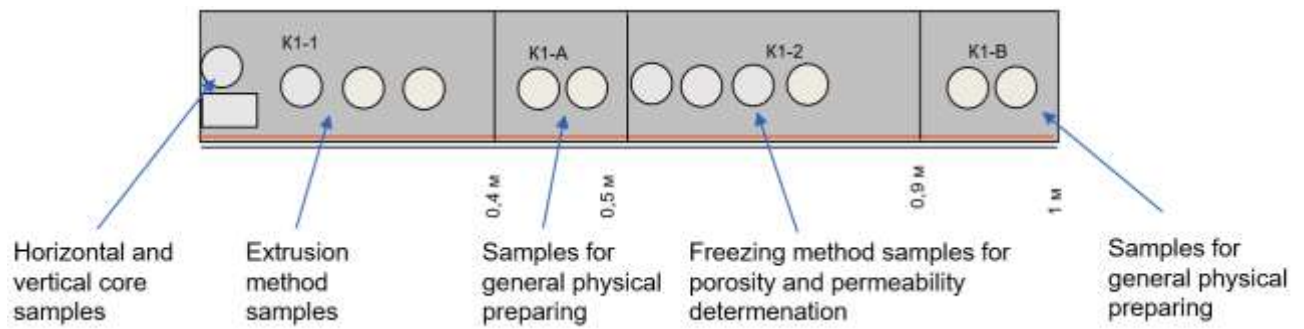


Fig. 2.11 - Core-sampling scheme [21]

In the practice of studies on unconsolidated core samples, two main technologies for producing samples for further research are used - the method of indentation and drilling of samples with cooling with liquid nitrogen [7].

The pressing-in method is used for samples gaining from unfrozen core. This method is carried out as follows:

Perforation of the tube to the thickness of its wall

Core cleaning from the mud cake

Immersion of the thin-walled plunger in the core until it stops

The core plunger is removed and immersed in liquid nitrogen.

After heating the plunger on a gas burner, the core sample removed and placed in a rubber cuff (foil). A protective metal grids are fixed at the sides of sample [30]. An example of method implementation is shown in Figure 2.12.

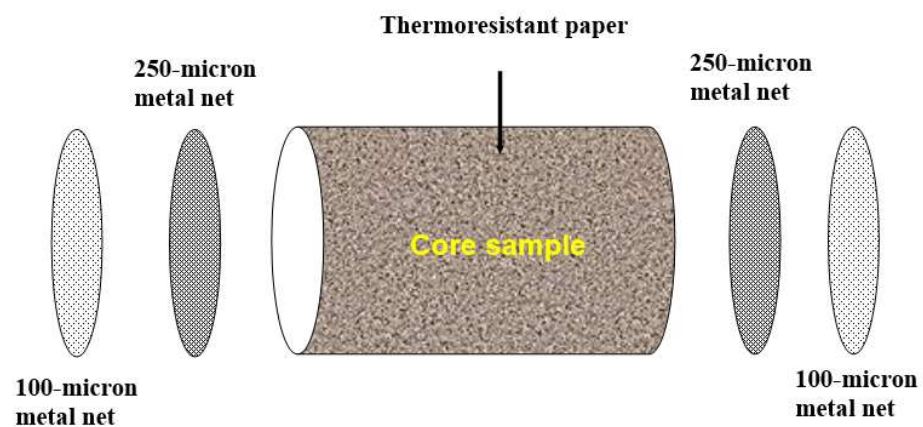


Fig. 2.12 - Core-samples stabilizing [7]

Currently, one of the most advanced devices for performing such work is the equipment of the ErgoTech company (Great Britain).

The pressing-in method has limitations on its applicability in heterogeneous, layered core sections. In addition, during compaction, rock compaction inevitably occurs in the end sections of the samples (the degree of compaction is poorly controlled). It is important to note that the unconsolidated core, in turn, is decompressed during core sampling, and the degree of decompression cannot be controlled.

If it is impossible to manufacture samples by the pressing-in method, it is necessary to produce samples using cryotechnologies:

Core samples are drilled using a supply of liquid nitrogen, usually under a pressure of 2 atmospheres. For better drilling, it is necessary to circulate liquid nitrogen through the crown, in order to remove core particles and ensure quick and high-quality drilling of the sample.

Due to the fact that extruded samples can be taken without using freezing, the best option would be to use both methods of sampling to obtain the greatest amount of information and make adjustments to the measurements taken.

After core samples been taken, the following technical solutions are used to preserve them:

Casing of samples with various types of shrink films

Casing of samples with metal (nickel) foil

Each technology has advantages and disadvantages – samples preserving using shrink film, requires: tight contact between the side wall of the sample and the film, tight fixation of the end filters, the film must be inert to the use of aggressive fluids used in further research of core samples.

Using metal foil, it is impossible to measure resistivity and the method of preserving samples is more laborious and has higher risks of obtaining low-quality samples, however, the influence of metal grids on porosity and permeability measurements is much lower than fluoroplastic plates used in conjunction with heat shrinkage [7].

Examples of manufactured samples using each of the technologies described above are presented in Figure 2.13.



Fig. 2.13 – Core-samples for tests [20]

2.2.3 Unconsolidated core tests

2.2.3.1 Fluid saturation test

The measurements of fluid saturation according to API RP40 was selected using the Distillation extraction (plug) method. Possible alternatives are Pressure-retained core method, Solvent flushing / Karl Fischer method [7].

The analysis is based on the Soxhlet apparatus or flow extractor. The operating mode for washing with organic solvents (acetone) was selected 15-30 days samples flushing with dissolvent (acetone, tetrahydrofuran).

The extraction of fluids from core samples is recommended to be carried out in Soxhlet apparatuses, as the most affordable for routine work. Extraction in CO₂ extractors is not recommended due to the presence of increased loads on the samples (numerous injection and pressure relief cycles). Core samples taken for capillarometric and special flow experiments are recommended to be carried out in a flow extractor using individual core holders [7].

The procedure of the fluids extraction from samples goes in the Soxhlet apparatus as follows:

Fill the apparatus with one of the solvents (toluene, alcohol-benzene mixture, chloroform, etc.)

Put the selected samples to the Soxhlet apparatus. When loading, ensure accurate vertical arrangement of samples. The optimal amount for loading is the number of samples up to 30 pcs with a diameter of 30 mm and 20 pcs for samples with a diameter of 1.5 inches.

Provide water to the circulation system.

Turn on the device to heat to the boiling point of the solvent

Extraction should be carried out round-the-clock for 5 days with obligatory storage for 2 days.

Carry out a cleaning control to assess the degree of color of the solvent (lack of color of the extract indicates the end of the process).

If solvent is colored, the cycle repeats.

If necessary, re-extract fluids with another solvent.

2.2.3.2 Core desalting

According to the API RP40 document core desalting is recommended if it is more than 10 g / l of salt in formation water. Water bath with distilled water @ 50°C, 5-10 changes of water. Consider the desalination process below:

Distilled water is usually used to clean rock samples from salts precipitated from reservoir fluids. Additionally it can be carried out the deionization of distilled water using various devices. For rock samples containing a large number of swelling clay particles, it is recommended to use methanol instead of distilled water [7]. In Russia, the use of methanol in the laboratories is restricted, therefore, it should be used acetone instead of methanol/

The desalination of cylindrical samples using distilled water is usually carried out using water baths. The temperature of the water is maintained within 40-50 ° C.

Every two hours, it is necessary to change the water. The control of the content of chlorine ions in water is carried out using a silver nitrate solution.

When carrying out desalination of samples with a high content of clay material, especially swelling, it is recommended to use Soxhlet apparatuses filled with acetone. To control the content of chlorine ions, it is recommended to take a sample of acetone when the extractor is completely filled. The presence of chlorine ions is recorded by the turbidity of the test fluid [7].

2.2.3.3 Core drying

Core drying according to API RP40 document is recommended based on vacuum oven or humidity oven. Based on the properties of core samples, the furnace operating mode was selected as 12-24 hours @ 75°C, control should be carried out by weighing of the sample.

Drying of unconsolidated samples placed in individual core holders is recommended to be carried out by passing nitrogen through the core holder. Drying time is determined empirically on samples from consolidated rocks with similar porosity and permeability properties.

2.2.3.4 Open porosity test

The definition of Open porosity by the method of liquid saturation in domestic practice is regulated by GOST 26450.0-85, GOST-26450.2-85 documents are acceptable for slightly consolidated core [4, 27], therefore it was chosen because of the simplicity and low cost of use.

The essence of the method is to determine the volume of the void space of the sample by the mass difference between the dry and liquid-saturated samples. Its external volume by the mass difference of the liquid-saturated sample in air and in a saturating liquid and calculating the porosity coefficient by dividing the first volume by the second. In addition to the mass of the sample, the masses of the end grids, as well as the shrink film or nickel foil, FUM tape, are added. In the calculations, this must be taken into account.

Calculations by this method are carried out as follows:

The coefficient of open porosity (KP) in percent is calculated by the formula:

$$K_{\Pi} = V_{\Pi} / V_{\text{обп}} \quad (1.1)$$

Where:

$m_{\text{д}}$ – mass of two perforated fluoroplastic discs

$m_{\text{с}}$ – the mass of metal grids

$m_{\text{пл}}$ – mass of shrink film

m_1 – dry sample weight per package

m_2 – mass of saturated sample in a package in air

m_3 – mass of saturated sample in a package in water

$m_{\text{сyx}}$ – dry sample mass without packaging

$\rho_{\text{ж}}, \rho_{\text{д}}, \rho_{\text{с}}, \rho_{\text{пл}}$ – density of liquid, disks, nets, films

V_{Π} – sample pore volume

$V_{\text{обп}}$ – external volume of the sample

$V_{\text{д}}, V_{\text{с}}, V_{\text{пл}}$ – volumes of disks, nets, film installed on the sample.

$$m_1 = m_{\text{сyx}} + m_{\text{д}} + m_{\text{с}} + m_{\text{пл}}$$

$$m_2 = m_{\text{сyx}} + V_{\Pi} \rho_{\text{ж}} + m_{\text{д}} + m_{\text{с}} + m_{\text{пл}}$$

$$m_3 = m_{\text{сyx}} + V_{\Pi} \rho_{\text{ж}} + m_{\text{д}} + m_{\text{с}} + m_{\text{пл}} - V_{\text{обп}} \rho_{\text{ж}} - V_{\text{д}} \rho_{\text{ж}} - V_{\text{с}} \rho_{\text{ж}} - V_{\text{пл}} \rho_{\text{ж}}$$

Therefore:

$$m_2 - m_1 = V_{\Pi} \rho_{\text{ж}}, \text{ which leads to:}$$

$$V_{\Pi} = (m_2 - m_1) / \rho_{\text{ж}}$$

$$m_2 - m_3 = V_{\text{обп}} \rho_{\text{ж}} + V_{\text{д}} \rho_{\text{ж}} + V_{\text{с}} \rho_{\text{ж}} + V_{\text{пл}} \rho_{\text{ж}}, \text{ which leads to:}$$

$$V_{\text{обп}} = (m_2 - m_3) / \rho_{\text{ж}} - V_{\text{д}} - V_{\text{с}} - V_{\text{пл}} = (m_2 - m_3) / \rho_{\text{ж}} - m_{\text{д}} / \rho_{\text{д}} - m_{\text{с}} / \rho_{\text{с}} - m_{\text{пл}} / \rho_{\text{пл}}$$

When determining porosity by liquid saturation, the bulk density of the sample (δ_n), g / sm³, should be calculated by the formula:

$$\delta_n = \frac{m_1 \cdot \delta_{\text{жс}}}{m_3 - m_2} \quad (1.2)$$

Where $\delta_{\text{жс}}$ – the density of the working fluid, and apparent mineralogical density, according to the formula:

$$\delta_{K.M.n} = \frac{m_1 \cdot \delta_{\text{жс}}}{m_1 - m_2} \quad (1.3)$$

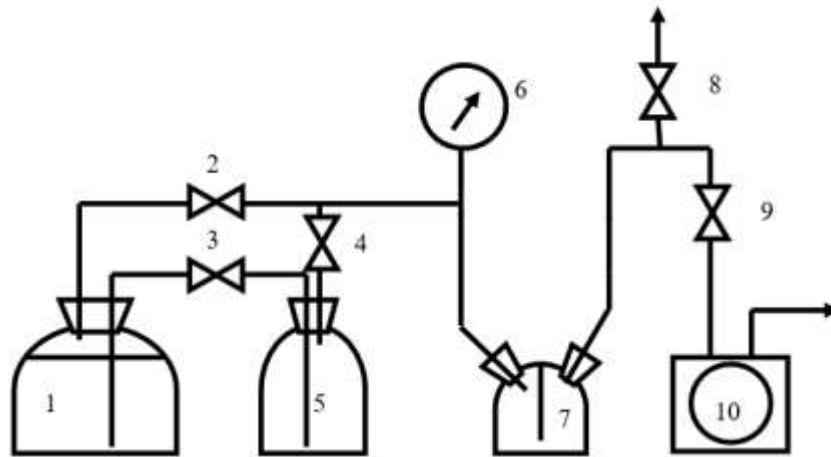


Fig. 2.14 – Scheme of the unit for vacuum samples saturation measurement [16]

1 - capacity for core evacuation (desiccator), 2,3,4,8,9 — vacuum valves, 5 — capacity for saturating liquid, 6 — vacuum gauge, 7 — trap, 10 — pump

2.2.3.5 Effective porosity test

According to the API RP40 document, effective porosity determination for unconsolidated reservoirs can be based on the Boyle's Law double-cell method of grain volume measurement with helium porosimeter. Example of equipment used - DHP-100 (Weatherford). An alternative is to use techniques based on Boyle's Law single cell method for direct pore (void) volume measurement [16]. The first of the methods described above will be used for further calculations.

The gas-based porosity determination for samples of unconsolidated rocks is chosen to be carried out on a helium porosimeter according to the two-cell method. It can be used use a DHP-100 porosimeter manufactured by Weatherford (Figure 24) or its analog, which allows measurements on 30 mm and 1.5 inch samples.



Fig. 2.15 - Helium Porosimeter DHP-100

Calculations by this method are carried out as follows:

The numerical value of open porosity is defined as the ratio of the pore volume in the sample (V_{Π}) to the total rock volume ($V_{o6p.}$):

$$K_{\Pi} = V_{\Pi} / V_{o6p.} \quad (2.1)$$

The total sample volume is calculated according to the dimensions of the core sample, provided that it is a geometrically regular cylinder. The pore volume is found as the difference between the total volume of the sample and the volume of the solid phase (V_{TB}):

$$V_{\Pi} = V_{o6p} - V_{TB} \quad (2.2)$$

DHP-100 uses the Boyle-Mariotte law to measure the volume of the solid phase of a sample by expanding a given mass of helium in a calibrated cell.

Boyle-Mariotte law: $(P_1 V_1) = (P_2 V_2)$

Where:

P_1 – initial pressure, MPa;

V_1 – initial volume, cm^3 ;

P_2 – final pressure MPa;

V_2 – final volume cm^3 ;

The equation used to calculate the volume of the solid phase is derived from the basic Boyle-Mariotte law as follows:

$$P_1 V_K = P_2 (V_K + V_{TB}) \quad (2.3)$$

$$V_{TB} = ((P_1 - P_2)/P_2) V_K \quad (2.4)$$

$$V_K = V_{K1} + V_{K2} \quad (2.5)$$

Where V_{K1} , V_{K2} – calibrated volume containers included in the measuring circuit of the device.

Using calibration with respect to the known volume standards, it is possible to determine the relationship between grain volume and the ratio $(P_1 - P_2)/P_2$. Taking measurements on a DHP-100 device, it can be obtained the value of the volume of the solid phase $V_{\text{мин}}$.

The porosity is determined by the formula:

$$K_{\Pi} = V_{\text{пор}}/V_{\text{обр}}, \quad (2.6)$$

$V_{\text{обр}}$ - geometric volume of the sample

$V_{\text{пор}}$ - pore volume

To determine the volume of the sample, it is necessary to use the true values of diameter and length:

$$V_{\text{обр}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ист}}^2 \cdot l_{\text{ист}}}{4}$$

$$d_{\text{ист}} = d - 2 * (\text{film thickness});$$

$$l_{\text{ист}} = l - 2 * (\text{teflon disc thickness}) - 2 * (\text{net thickness})$$

Pore volume is calculated by the following formula:

$$V_{\text{пор}} = V_{\text{обр}} - V_{\text{ист}}, \quad (2.7)$$

Where $V_{\text{ист}}$ – true volume, determined by the formula:

$$V_{\text{ист}} = V_{\text{min}} - V_{\text{constituents}} \quad (2.8)$$

$$V_{\text{constituents}} = m_i / \rho_i = \frac{m}{\rho} \{\text{shrink film}\} + \frac{m}{\rho} \{\text{teflon disc}\} + \frac{m}{\rho} \{\text{metal net}\}$$

Mineralogical density is determined by the following formula:

$$\rho_{\text{мин}} = m_{\text{ист}} / V_{\text{ист}} \quad (2.9)$$

The true weight of the sample, m_{HCT} , is defined as the difference between the mass of the packed sample and the mass of all its components (shrink film, teflon disk, metal mesh).

2.2.3.6 Permeability determination

Permeability determination based on API RP40 document should be based on gas permeameter with a stationary mode of measuring permeability. Example of equipment used DGP-300 (Weatherford). The alternatives to this method that can be used for weakly cemented core are the Slip-Corrected Darcy Equation based on fluid flow test and porosity [7]. As the main one, it was considered the application of the first of these methods.

The determination of gas permeability for samples of unconsolidated rocks should be carried out on a gas permeameter with a stationary mode of measuring permeability with a side crimp pressure of 400 psi.

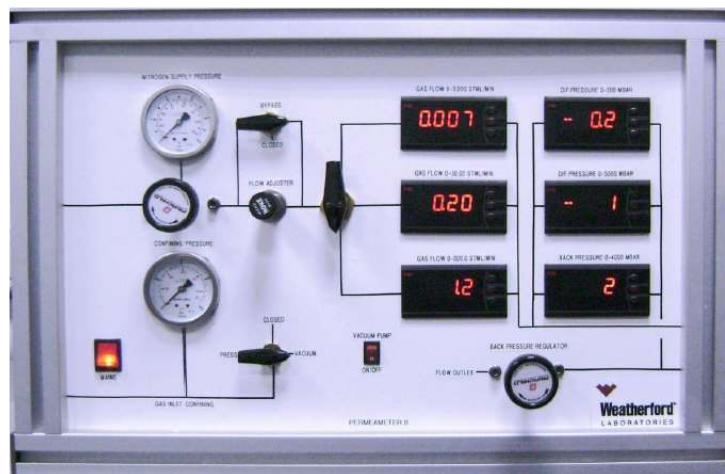


Fig. 2.16 - Gas permeameter DGP-300

Calculations based on the results of measurements should be carried out as follows: The method of stationary filtration is the basis for measuring gas permeability. Gas (air, nitrogen or helium) is passed through a sample with known dimensions with a constant pressure drop between the inlet and outlet of the sample,

or at a constant flow rate with a steady pressure drop. Permeability with steady gas filtration is calculated by the formula:

$$K_{np} = \frac{1000Q\mu L p_{\text{бар}}}{(p_1 - p_2) p_{cp} \cdot F} \quad (3.1)$$

Where:

K_{np} – gas permeability, $10^{-3} \mu\text{m}^2$;

Q – gas volumetric flow rate reduced to the average pressure in the sample at a given barometric pressure, cm^3/s ;

P_1 и P_2 - absolute pressure at the inlet and outlet sections of the sample, 0.1 MPa (bar);

$P_{\text{бар}}$ – barometric pressure, 0.1 MPa (bar);

$P_{cp} = (P_1 + P_2)/2$ – average pressure in the sample, 0.1 MPa (bar);

μ – gas viscosity under gas filtration conditions through a sample, $\text{MPa} \cdot \text{s}$;

L – sample length, cm;

F – cross-sectional area of the sample, cm^2 .

Приложение Б

Классификация пород по выносу керна

Группа пород	Выход керна, %	Поля схемы	Характеристика пород по структурнотекстурным признакам	Типичные представители горных пород
I	0-20	А-1 до А-9	Несвязные, рыхлые, размываемые	Пески, суглинки, галечники, соли, слабые охры, сильнотрещиноватые грубообломочные песчаники на глинистом цементе, сильнотрещиноватые аргиллиты и алевролиты, рыхлые, несвязные породы, сцементированные льдом; конгломераты на слабом цементе, сильнотрещиноватые известняки, мергели, доломиты, раздробленные слабые каменные угли, метаморфизованные раздробленные аргиллиты, гравелиты, брекчии, бокситы, сланцы кварц-серицит-известковые сильнотрещиноватые
		Б-8 Б-9 В-9 Г-9 Д-9	Связные, неоднородные и однородные по строению; в основном, перемежающиеся по твердости; сильнотрещиноватые; малой, как исключение средней, прочности	
II	20- 40	Б-6 Б-7 Г-7 Г-8 В-7 В-8 Д-8	Связные, неоднородные и однородные по строению; однородные и неоднородные по твердости; сильнотрещиноватые; средней и высокой прочности, как исключение среднетрещиноватые, малой прочности	Среднетрещиноватые конгломераты, брекчии, сидерито-глинистые породы, песчаники слабые, крепкие угли сложного строения, коры выветривания никелевых, марганцевых и железистых месторождений, скалны кавернозные, сильнотрещиноватые рудные зоны гидротермальных месторождений, грубообломочные туфы, туффиты, зоны переслаивания песчаников и аргиллитов
III	40- 60	Б-3 Б-4 Б-5 В-4 В-5 В-6 Г-5 Г-6 Д-7	Связные, неоднородные и однородные по строению; однородные и неоднородные по твердости; монолитные и среднетрещиноватые различной прочности, как исключение сильнотрещиноватые, высокой прочности	Среднетрещиноватые аргиллиты и алевролиты, плотные глины, песчаники, крепкие угли, филлиты, конгломераты, трещиноватые кремнистые породы, роговики, мраморы, известняки, доломиты, туффиты, сильнотрещиноватые кварциты, диабазовые порфириды, граниты, гранодиориты, сиениты, пегматиты, базальты, серпентиниты
IV	60- 80	Б-1 Б-2 В-1 В-2 В-3 Г-2 Г-3 Г-4 Д-4 Д-5 Д-6	Связные, неоднородные и однородные по строению; в основном, однородные по твердости; монолитные различной прочности, как исключение среднетрещиноватые, высокой прочности	Плотные песчаники, глины, мергели, известняки, доломиты, слаботрещиноватые серпентиниты, филлиты, роговики, мигматиты, гнейсы, скалны, пироксениты, граниты, гранодиориты, порфириды, липариты, базальты и диабазы
V	80-100	Г-1 Д-1 Д-2	Связные, в основном, однородные по строению; однородные по твердости; монолитные различной прочности	Монолитные однородные толщи песчаников, аргиллитов, доломитов, известняков. Монолитные джеспилиты, кварциты, роговики, гнейсы, яшмы, мраморы. Неизменные граниты, диабазы, порфириды, андезиты, граносиениты, ланиты, базальты, перидотиты, липариты, фельзиты

Приложение В

Спуск керновой трубы с бурового стола

Спуск трубы под собственным весом



Спуск трубы буровой командой



Спуск трубы в укладочной раме.



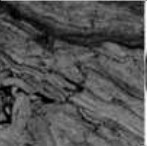
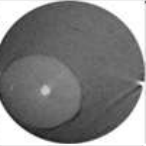
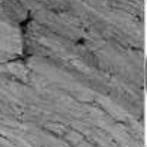
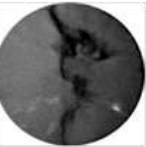
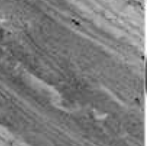
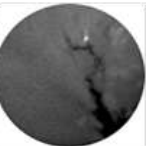
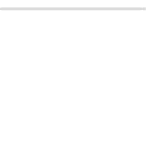
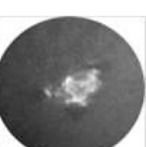
Приложение Г

Методы стабилизации керна для его безопасного транспорта

№пп	Технология стабилизации	Положительные моменты	Отрицательные моменты
1	Гипс	Качественная стабилизация	Чувствителен к хим. свойствам воды, хрупкий, требователен к соблюдению технологии, ограничения по температуре воздуха
2	Эпоксидная смола	Качественная стабилизация	Едкие вещества, экзотермическая реакция, возможно проникновение в керн и изменение смачиваемости, трудно удаляется с поверхности керна, ограничения по температуре воздуха
3	Полиуретановая пена	Качественная стабилизация, прочная, может быть закачана под давлением, удаляется с керна	Едкие химические вещества
4	Заморозка	Качественная стабилизация, дешевый способ в модификации естественной заморозки	Затратный при использовании сухого льда. Приводит к повреждениям хрупких песчаников и глинистых минералов, при длительном хранении затратный, ограничения по температуре воздуха
5	Силиконовый гель	Дешевый	Технология не отработана, нет полной консервации керна
6	Plastic Strip	Позволяет закрепить керн внутри тубуса без заливки агентом	Применяется только в случае консолидированных пород

Приложение Д

Пример отчета по керну после томографии

Результаты томографии					
	0°	90°	Значение угла α	Поперечн. Срезы	Глубина поперечных срезов от кровлиту бу са, см
00					0,5
05					
10					
15					
20					
25					26,25
30					
35					
40					
45					
50					42
55					
60					
65					
70					
75					74,5
80					
85					
90					
95					
100					94,75