ЛОГСЕРВИС
ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ
ОГРН 1186451003023
ИНН/КПП 6453155042/645301001
ОКПО 24992058
410041, г. Саратов, а/я 713
(8452) 44 44 68
www.log-service.su
office@log-service.su

Отчет по обработке и интерпретации данных ЯМК (КарСар 5ЯК), электрического микросканера (КарСар МС-В) и кросс-дипольного акустического каротажа (КарСар 8АД73)

ЗАКАЗЧИК: XXXXXXX
СКВАЖИНА: XX

МЕСТОРОЖДЕНИЕ: XXXXXXX
СТРАНА: Россия
ДАТА ЗАПИСИ: xx.xx.2020г

Отчет составил:
интерпретатор

2020

ОГРН 1186451003023
ИНН/КПП 6453155042/645301001
ОКПО 24992058
410041, г. Саратов, а/я 713
(8452) 44 44 68
www.log-service.su
office@log-service.su

Содержание

КРАТКИЙ ОБЗОР РЕЗУЛЬТАТОВ 5

1. ВВЕДЕНИЕ 7

2. ДАННЫЕ ПО СКВАЖИНЕ 7

3. ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ЯМК 8

4. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДАННЫХ ЯМК 9

5. СТАНДАРТНАЯ ИНВЕРСИЯ ДАННЫХ ЯМК 9

6. ПРОНИЦАЕМОСТЬ ПО ДАННЫМ ЯМК 11

7. ОПИСАНИЕ ПЛАНШЕТА «РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ 5ЯК», МАСШТАБ 1:200. 12

8. РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ ЯМК. 14

9. ОПИСАНИЕ ПРИБОРА КАРСАР МС-В И СПЕЦИФИКАЦИЯ 16

10. ОБРАБОТКА ДАННЫХ ЭМС 18

10.1. Предварительная обработка 18

10.2. Статический и динамический имиджи 18

10.3. Фильтрация имиджа 20

10.4. Восстановление имиджа 21

10.5. Контроль качества данных 22

11. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ЭМС 24

11.1. Структурный анализ. 29

11.2. Анализ трещиноватости 37

11.3. Оценка состояния ствола скважины 44

11.4. Таблица углов наклона и азимутов падения выделенных элементов 46

11.5. Расчет параметров трещин по данным ЭМС 47

12. ОПИСАНИЕ ПРИБОРА КАРСАР 8АД73 48

13. КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ДАННЫХ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ 50

14. МЕТОДИКА ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ КДАК 51

15. РЕЗУЛЬТАТЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ДАННЫХ КДАК 53

16. КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ДАННЫХ 56

ВЫВОДЫ 65

ОГРН 1186451003023
ИНН/КПП 6453155042/645301001
ОКПО 24992058
410041, г. Саратов, а/я 713
(8452) 44 44 68
www.log-service.su
office@log-service.su

Приложения

Приложение 1: Результаты интерпретации данных ЭМС, Масштаб 1:40, Интервал: 2340-2576м
Приложение 2: Результаты интерпретации данных ЭМС, Масштаб 1:200, Интервал: 2340-2576м
Приложение 3: Структурный анализ, Масштаб 1:200, Интервал: 2340-2576м
Приложение 4: Результат фильтрации и восстановления имиджа, Масштаб 1:100, Интервал: 2340-2576м

Приложение 5: Таблица параметров залегания выделенных элементов.xlsx

Приложение 6: Параметры залегания выделенных элементов.las

Приложение 7: Таблица параметров трещин.xlsx
Приложение 8: Результаты обработки_8АД73.bmp, Масштаб 1:200, Интервал: 2340-2574.6м
Приложение 9: Результаты обработки_8АД73.las
Приложение 10: Результаты обработки_8АД73_АКШ.bmp, Масштаб 1:200, Интервал: 1060.0-2574.6м
Приложение 11: Результаты обработки_8АД73_АКШ.las
Приложение 12: Результаты интерпретации данных ЯМК.bmp, Масштаб 1:200, Интервал: 2340-2578м
Приложение 13: Результаты интерпретации данных ЯМК.las
Приложение 14: Таблица коллекторов ЯМК. xlsx
Приложение 15: Результаты интерпретации данных ЯК+ЭМС+8АД_200.bmp, Масштаб 1:200, Интервал: 2340-2578м

Краткий обзор результатов

Исследования в скважине XX XXXXXXX месторождения были проведены в интервале 2340-2578м (ЯМК), 2340-2576м (ЭМС), 2340-2574.6м (кросс-дипольный акустический каротаж: КДАК), 1060.0-2574.6м (АКШ).

Качество каротажных данных признано хорошим во всем интервале исследований, кроме интервалов развития каверн. Стоит отметить, что при проведении работ происходили затяжки всех приборов.

По результатам интерпретации данных ЯМК получены следующие основные данные: проницаемость, общая и эффективная пористости, спектр распределения частичных пористостей, соответствующих различным значениям Т2, частичные пористости воды в глинах, остаточной воды и подвижного флюида, Кво. В интервале песчано-глинистых пород-коллекторов сигнал Т2 лежит в диапазоне 33-750 мсек, что говорит о мелкопоровом пространстве свободного флюида.

По результатам интерпретации данных ЭМС был проведен структурный анализ данных в интервале пластов:

- Фроловская свита 2340-2409.9м: напластования характеризуются Юго-Западным (ЮЗ) направлением падения, средний угол падения пластов составляет 7.0°;
- Баженовская свита 2409.9-2435.3м: напластования характеризуются Юго-Западным (ЮЗ) направлением падения, средний угол падения пластов составляет 5.8°;
- ЮК1 2435.3-2458.3м: падение меняется от Юго-Западного (ЮЗ) до Западного (З) направления, средний угол падения пластов составляет 9.9°;
- ЮК2 2458.3-2496.5м: падение меняется от Юго-Западного (ЮЗ) до Западного (З) направления., средний угол падения пластов составляет 12.3°;
- PZ 2496.5-2576.0м: падение слоев кристаллического фундамента характеризуется Северо-Западным направлением (СЗ), средний угол падения пластов составляет 43.0°.

Проводящие трещины в обнаружены только в интервале кристаллического фундамента имеют в основном Северо-Восточное – Юго-Западное (СВ-ЮЗ) направление простирания

Частично проводящие трещины в интервале исследования имеют в основном Северо-Западное – Юго-Восточное (СЗ-ЮВ) направление простирания.

Залеченные трещины имеют различное направление простирания.

ОГРН 1186451003023
ИНН/КПП 6453155042/645301001
ОКПО 24992058
410041, г. Саратов, а/я 713
(8452) 44 44 68
www.log-service.su
office@log-service.su

В результате интерпретации КДАК определены интервальные времена продольной волны, быстрой и медленной поперечных волн, а также волны Стоунли. Были рассчитаны коэффициент анизотропии и азимут распространения быстрой поперечной волны. В исследуемых интервалах определены основные динамические механические свойства, такие как модуль объемного сжатия, модуль сдвига, модуль Юнга, коэффициент Пуассона.

ОГРН 1186451003023
ИНН/КПП 6453155042/645301001
ОКПО 24992058
410041, г. Саратов, а/я 713
(8452) 44 44 68
www.log-service.su
office@log-service.su

1. Введение

Исследования в скважине XX XXXXXXX месторождения были проведены в интервале 2340-2578м (ЯМК), 2340-2576м (ЭМС), 2340-2574.6м (КДАК), 1060.0-2574.6м (АКШ). Исходные данные были записаны в формате KAR.

Данные были обработаны с использованием программного обеспечения «Оптимус», разработанного компанией «КАРСАР».

Данные увязаны к окончательному каротажу в открытом стволе.

2. Данные по скважине

Скважина	XX
Месторождение	XXXXXXX
Дата каротажа	xx.xx.2020г
Диаметр долота	216 мм
Магнитное склонение	гр (предоставлено Заказчиком)

Таблица 1: Стратиграфия по скважине

Стратиграфия	Кровля, м	Подошва, м
Фроловская свита	2340.0	2409.9
Баженовская свита, ЮК0	2409.9	2435.3
ЮК1	2435.3	2458.3
ЮК2	2458.3	2496.5
PZ	2496.5	2578.0

ОГРН 1186451003023
ИНН/КПП 6453155042/645301001
ОКПО 24992058
410041, г. Саратов, а/я 713
(8452) 44 44 68
www.log-service.su
office@log-service.su

3. Основные задачи ЯМК

- Определение общей, открытой и эффективной пористости пласта.
- Определение объемов подвижных и связанных флюидов.
- Определение структуры порового пространства (распределение пористости по размеру пор).
- Выделение продуктивных интервалов.
- Оценка индекса проницаемости.

4. Оценка качества данных ЯМК

Качество данных ЯМК признано хорошим во всем интервале исследований, возможно искажение данных в интервалах каверн скважины.

5. Стандартная инверсия данных ЯМК

Стандартная обработка спектра Т2 ЯМК - петрофизический анализ с помощью стандартной инверсии данных ЯМК для получения частичных пористостей, соответствующих объёмам подвижного флюида (BVM), капиллярно-связанной воды (BVI) и воды в глинистой составляющей (CBW).

В процессе записи 5ЯК регистрируемые эхо-сигналы объединяются в определенные наборы для улучшения соотношения сигнал-помеха. Осреднение в процессе обработки производилось в интервале 0.25-2048 мсек.

Следующий шаг – преобразование наборов эхо-сигналов в спектр распределения Т2кажущееся, по которому затем определяются объемы поровых флюидов: CBW – объем воды в глинистой составляющей, BVI – объем капиллярно-связанной воды и BVM – объем свободного флюида.

Обработка эхо-сигналов и получение спектра распределения Т2 производились с применением мультиэкспоненциальной модели с инверсионным алгоритмом, как показано на Рисунке 1.

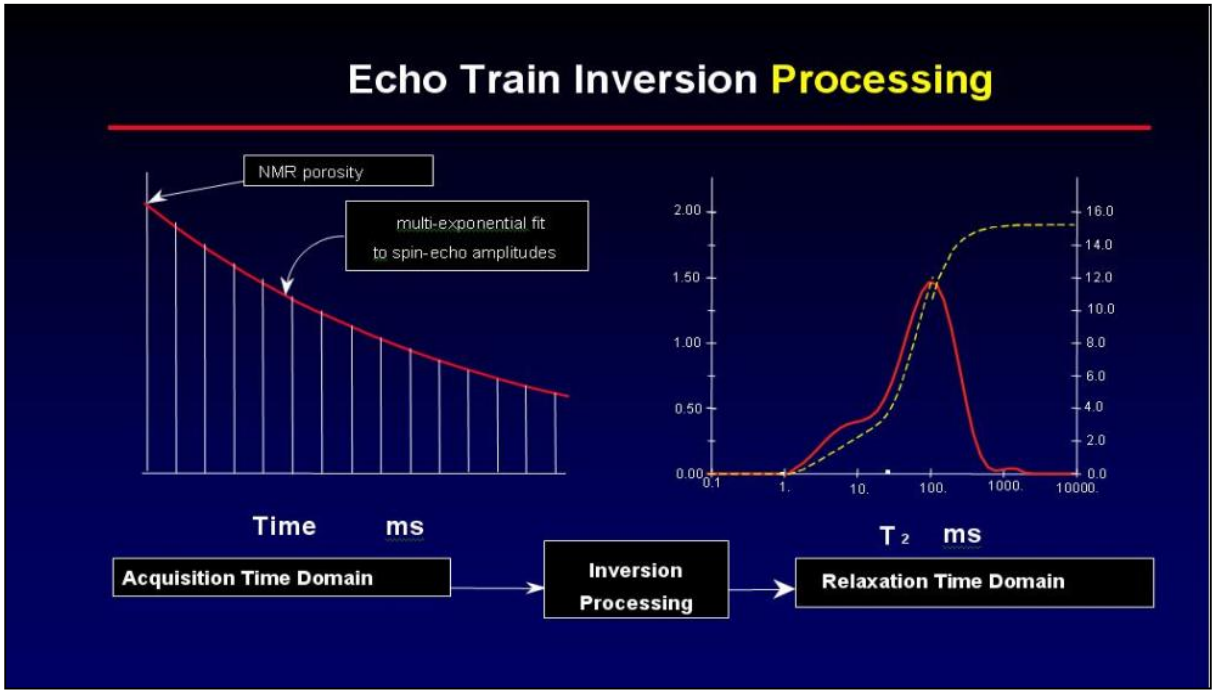


Рисунок 1: Мультиэкспоненциальная модель для обработки эхо-сигналов

Объем связанной воды в глинистой компоненте (CBW) определялся с учетом верхнего граничного значения T2=3.3 мс. Доля капиллярно-связанной воды (BVI) рассчитывалась на основе применения верхнего граничного значения T2=33 мс принятого для терригенных отложений. Флюиды, имеющие высокие значения T2, более чем 33 мс, в соответствии со стандартом были отнесены к подвижным (BVM) Рисунок 2.

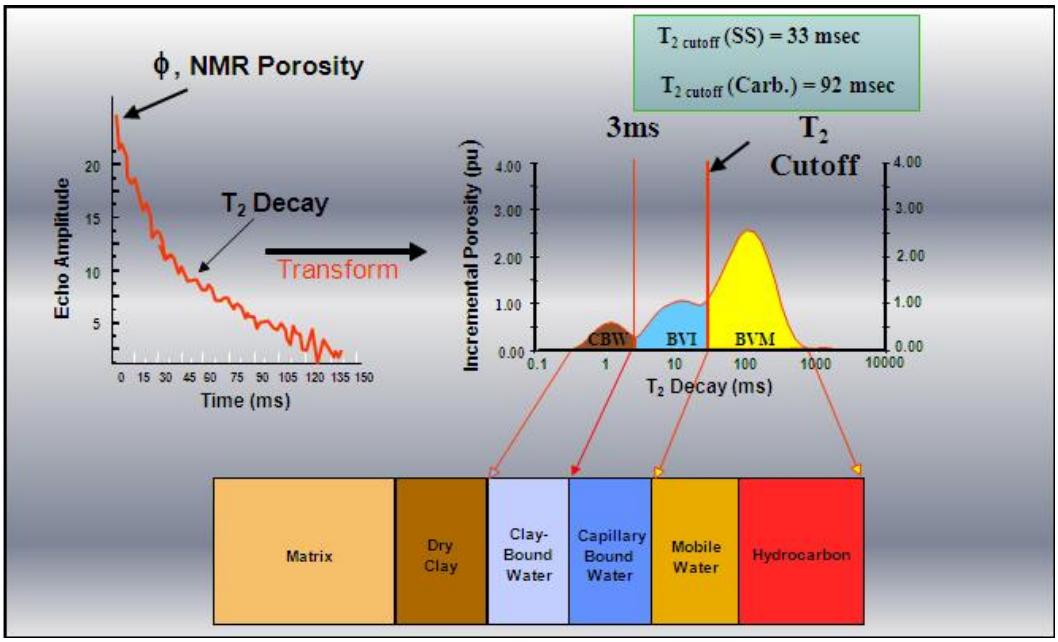


Рисунок 2: Модель выделения компонент пористости

6. Проницаемость по данным ЯМК

Индекс проницаемости рассчитывался по формуле:

$$Knp = \left(\frac{MPHS}{C} \right)^{m} * (T2)^{n},$$

где: MPHS – пористость по ЯМК

T2– время поперечной релаксации протонов

c – переменная со значением 68.7 – для терригенного разреза

m – переменная со значением 4

n – переменная со значением 2

Критерием выделения коллекторов принято присутствие в пласте потенциально подвижного флюида по ЯМК, наличие соответствующего сигнала на распределении T2 и проницаемости.

7. Описание планшета «Результаты интерпретации данных 5ЯК», масштаб 1:200.

В первом треке представлена шкала глубин, во втором треке представлена стратиграфия разреза.

В третьем треке представлены данные ГК и НКТб, записанные во время окончательного каротажа. В четвертом представлены данные водородосодержания и плотностного каротажа, записанные во время окончательного каротажа и данные интервального времени пробега волны по колонне, записанные во время АКЦ.

В пятом треке представлены данные 5ИК, записанные во время окончательного каротажа, в шестом – диаметр скважины.

В седьмом треке представлена шкала глубин.

В восьмом треке представлен спектр распределения Т2.

В девятом треке представлен спектр распределения частичных пористостей, соответствующих различным значениям Т2.

В десятом треке представлены частичные пористости воды в глинах, связанного флюида и свободного флюида.

В одиннадцатом треке представлена проницаемость, рассчитанная по данным ЯМК.

В двенадцатом треке представлен Кво, определенный по данным ЯМК.

В тринадцатом треке представлены коллектора, выделенные по результатам интерпретации данных 5ЯК, в четырнадцатом – коллектора, выделенные по результатам интерпретации данных окончательного каротажа (использовано заключение ООО «XXXX» от xx.xx.20).

В пятнадцатом треке представлена шкала глубин.

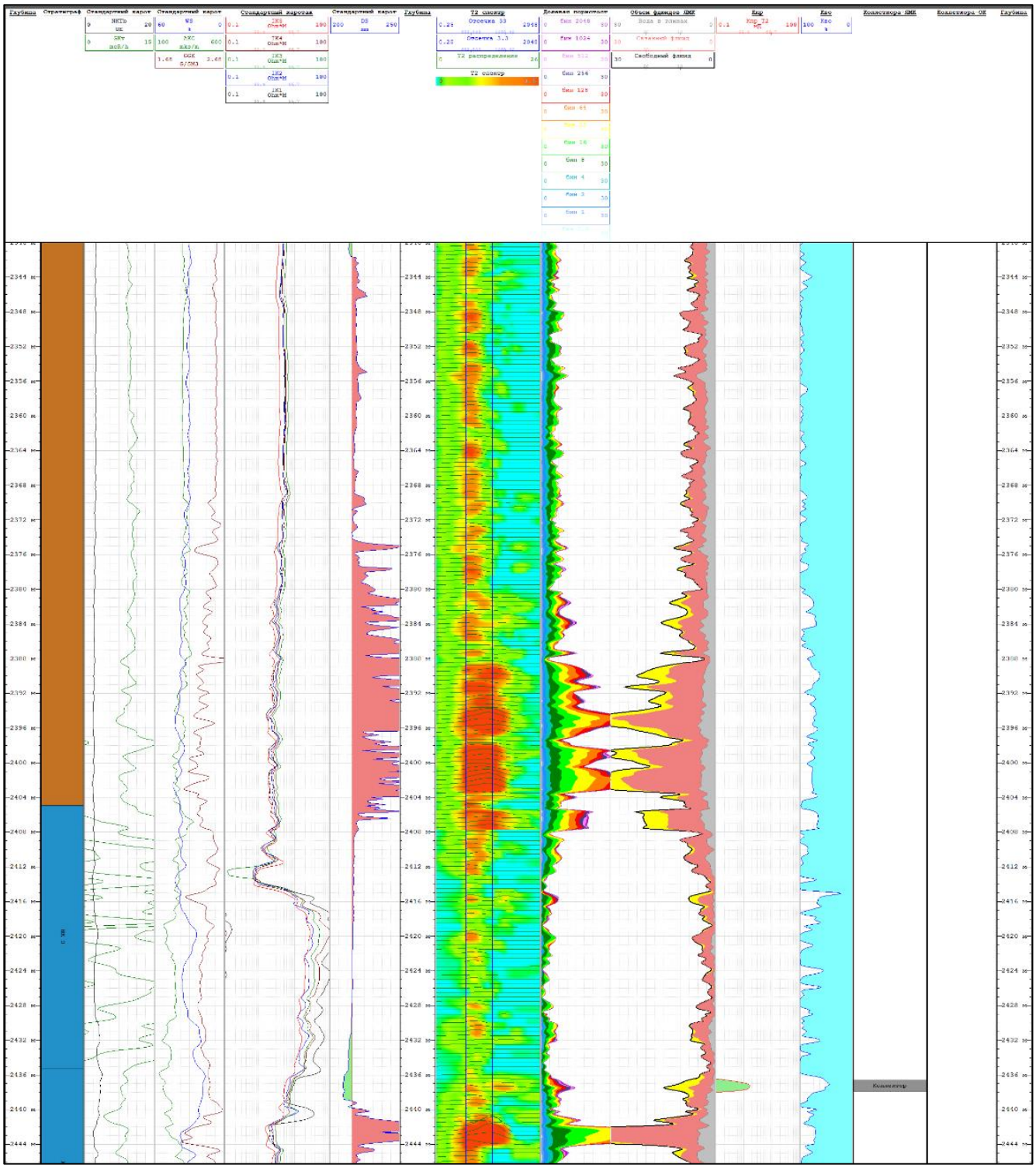


Рисунок 3: Пример планшета «Результаты интерпретации данных 5ЯК»

ОГРН 1186451003023
ИНН/КПП 6453155042/645301001
ОКПО 24992058
410041, г. Саратов, а/я 713
(8452) 44 44 68
www.log-service.su
office@log-service.su

8. Результаты интерпретации данных ЯМК.

По результатам инверсии спектра Т2 получены следующие основные данные: проницаемость, общая и эффективная пористости, спектр распределения частичных пористостей, соответствующих различным значениям Т2, частичные пористости воды в глинах, остаточной воды и подвижного флюида, Кво.

В интервале песчано-глинистых пород-коллекторов *сигнал Т2 лежит в диапазоне 33-750 мсек, что говорит о мелкопоровом пространстве свободного флюида.*

Подробные результаты интерпретации данных 5ЯК представлены в таблице 2.

Таблица 2: Таблица интервалов коллекторов по данным ЯМК

Кровля, м	Подошва, м	Мощность, м	Пористость по ЯМК, %			Кпр_по ЯМК, мД	Кво, %	Характеристика коллектора
			Кп общ	Кп откр	Кп эфф			
Фроловская свита 2340.0-2404.9м								
Коллекторов не выявлено								
ЮК 0 (2404.9-2435.3м)								
Коллекторов не выявлено								
ЮК 1 (2435.5-2458.3м)								
2436.6	2437.8	1.3	11.8	10.9	5.9	1.2	49.8	Коллектор
ЮК 2 (2458.3-2496.5м)								
2459.7	2462.3	2.7	12.7	11.0	2.4	0.2	81.2	Возможно коллектор
2467.7	2469.7	2.0	12.0	11.1	5.8	1.1	52.9	Коллектор
2471.3	2472.0	0.6	7.3	6.4	4.9	0.8	28.1	Возможно коллектор
2474.1	2476.3	2.2	11.8	10.6	3.8	0.4	67.3	Коллектор
PZ (2496.5-2578.0м)								
Коллекторов не выявлено								

9. Описание прибора КарСар МС-В и спецификация

В состав прибора КарСар МС-В входят: модуль сканера, модуль инклинометра и модуль памяти (Рисунок 4).

Электрический микросканер (КарСар МС-В) позволяет регистрировать удельное электрическое сопротивление в диапазоне 0.2 – 5000 Ом*м, изменения сопротивления пласта с вертикальным и горизонтальным разрешением 5 мм.

Прибор КарСар МС-В имеет 160 электродов, расположенных на 8 независимых прижимных башмаках, обеспечивающих хорошее покрытие стенки скважины.

Для компенсации за пространственную ориентацию прибора и ствола скважины, используются 3 магнитометра и 3 акселерометра, расположенных вдоль взаимно перпендикулярных осей X, Y, Z прибора.

В закрытом состоянии прибор имеет максимальный диаметр 120 мм. Покрытие измерениями стенки скважины составляет около 62.5% в скважинах диаметром 216 мм. Прибор применяется в скважинах, пробуренных с использованием растворов на водной основе.

Для просмотра ориентированного имиджа и контроля качества каротажа в реальном времени, данные отправляются на поверхность через каждые 10см. Данный высокого разрешения записываются в память прибора через каждые 2 мм.

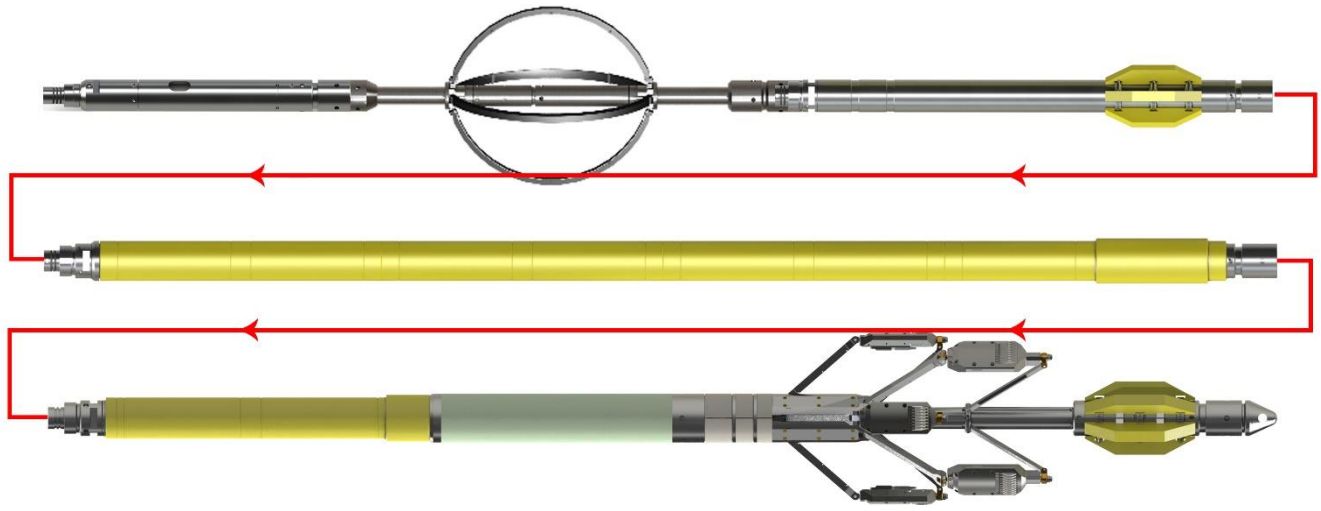


Рисунок 4: Схема прибора.

Основные области применения КарСар МС-В:

- **структурный анализ** – определение структурных углов
- **оценка трещиноватости** – ориентация системы трещин
- **седиментологический анализ** – фациальный анализ, определение направлений палеотечений
- **описание керна** – калибровка керна и изображений и привязка по керну, ориентация керна
- **характеристика коллектора** – анализ тонких пластов, оценка кавернозности, включений и идентификация наслоений
- **анализ механических свойств ствола скважины –** обнаружение на имиджах вывалов стенок скважины и техногенных трещин, определение направления максимального и минимального горизонтальных напряжений.

ОГРН 1186451003023
ИНН/КПП 6453155042/645301001
ОКПО 24992058
410041, г. Саратов, а/я 713
(8452) 44 44 68
www.log-service.su
office@log-service.su

10. Обработка данных ЭМС

Обработка и интерпретация исследований ЭМС проводится с использованием собственной программы ООО «КАРСАР» – «Оптимус». Следующие шаги используются для первичной обработки данных, а затем для создания имиджей:

10.1. Предварительная обработка

- Совмещение данных, записанных по кабелю на поверхности и в память прибора, с целью повышения разрешающей способности имиджа.
- Ввод магнитной поправки – азимутальная коррекция вводится для приведения показаний к отсчету от направления Истинного севера.
- Коррекция за эксцентриситет – учет несовпадения центра прибора с центром скважины (при его смещении к одной из стенок скважины).
- Коррекция за отсутствие данных на отдельных электродах – применяется для компенсации явлений, связанных с изменением характеристик отдельных электродов в процессе записи (неполное прижатие из-за сложного профиля скважины, загрязнение электродов) и исключения влияния неактивных электродов на динамическую и статическую нормализацию схемы расцветки.
- Эквализация данных – выравнивание значений удельных сопротивлений по электродам.
- Сцепление и ориентация башмаков – используется для приведения всех башмаков в одну плоскость.
- Логарифмическое масштабирование – используется для расширения диапазона, соответствующего одному цвету в динамической и статической нормализации.
- Гистограммное выравнивание – для динамического имиджа – создается гистограмма значений удельного сопротивления для заданного окна по глубине (обычно 1м) и составляется цветовая палитра.

10.2. Статический и динамический имиджи

Существуют 2 основных типа имиджей, используемые в ЭМС, статический и динамический:

- графическое отображение результатов регистрации в виде цветовой развертки сопротивлений на внутренней поверхности скважины во всем интервале исследований называется **статическим имиджем**. Статический имидж

характеризует крупномасштабные изменения электрических свойств горных пород, например, крупные лито-стратиграфические и тектонические элементы разреза;

•в результате цветовой нормализации в скользящем окне, ширину которого определяет интерпретатор (обычно 1 м), учитывающей различные уровни сопротивлений горных пород, получается **динамический имидж**. Динамический имидж характеризует более детально пласты в зонах с очень высоким или низким сопротивлением, дифференцирует особенности структуры и текстуры горных пород. (Рисунок 5).

Изменения удельного сопротивления в исследуемых отложениях представлены в виде различных оттенков. Чем больше удельное сопротивление формации, тем светлее изображение на имидже.

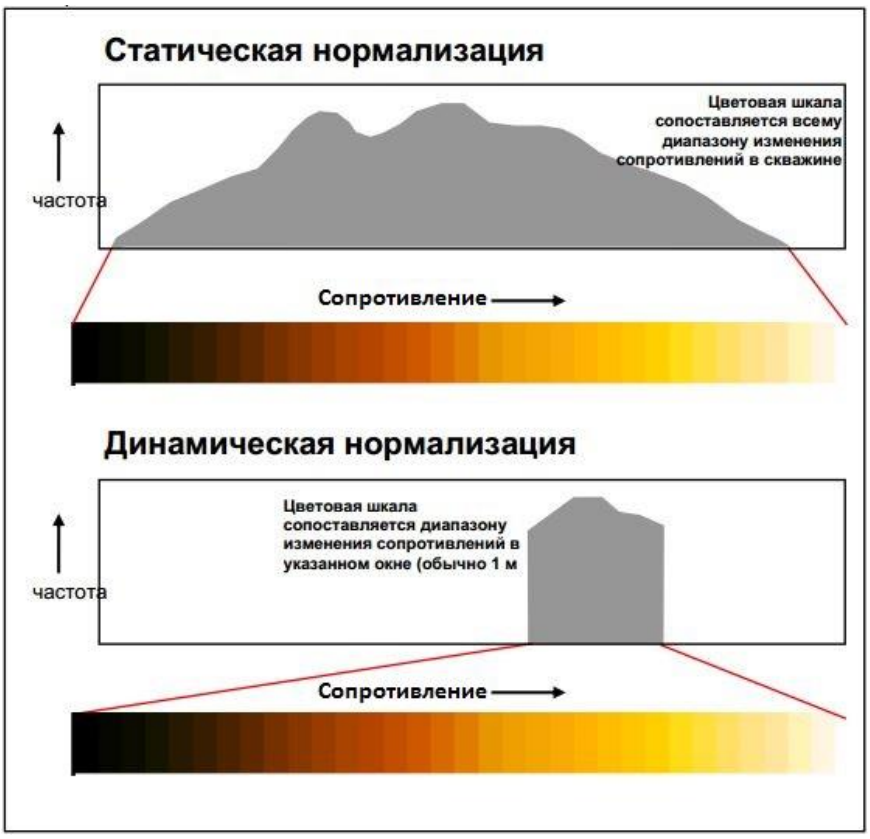


Рисунок 5: Статическое и динамическое масштабирование.

10.3. Фильтрация имиджа

Проводится для увеличения детальности структурных и текстурных особенностей пород, что помогает более точно определить тип выделяемых элементов, интервалы развития трещин (Рисунок 6).

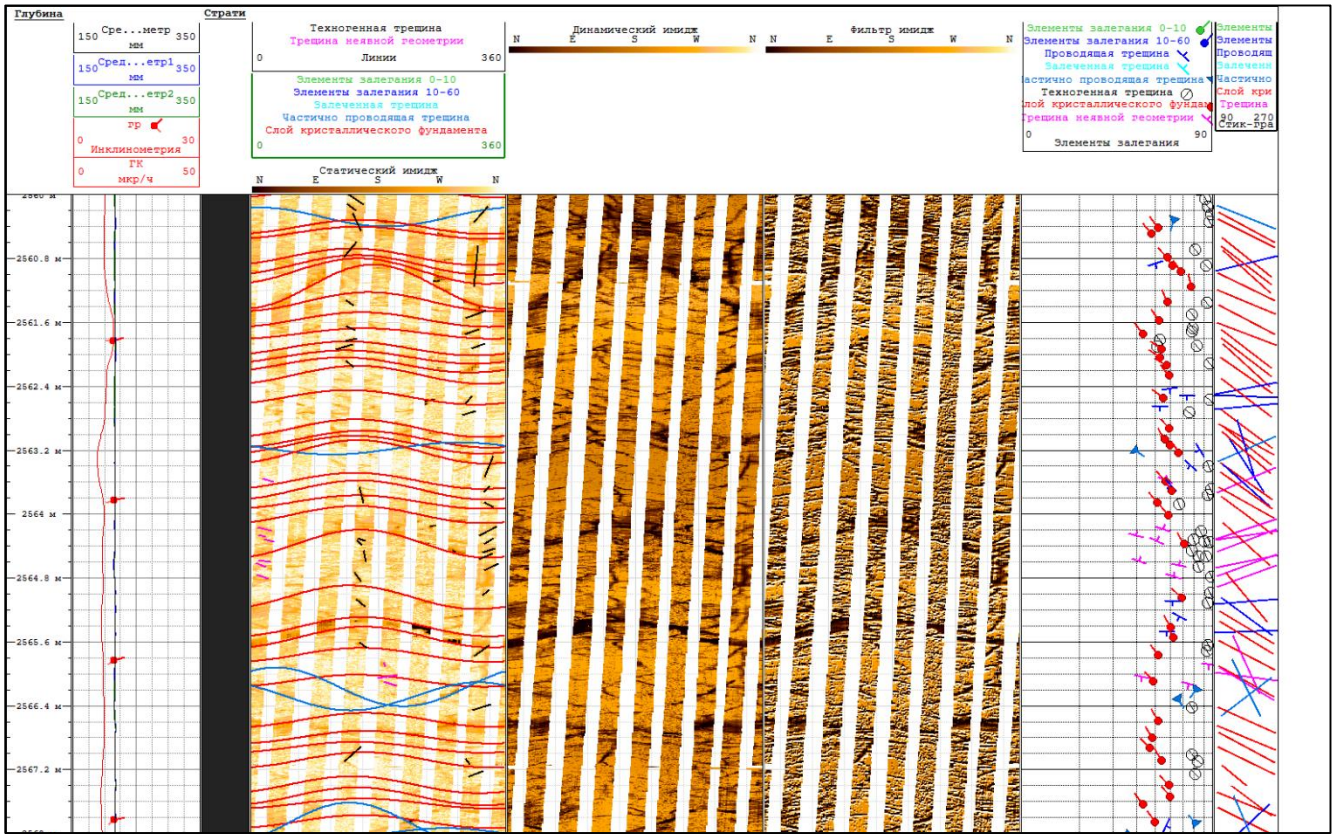


Рисунок 6: Результат фильтрации имиджа

10.4. Восстановление имиджа

Применение математических алгоритмов, основанных на достижениях в области цифровой обработки изображений, позволяет заполнить систематические пробелы и воссоздать полную картину ствола скважины. Напластования, в том числе с размытыми границами, трещины, в том числе высокоамплитудные, а также текстурные особенности пород могут быть полностью реконструированы в отсутствующих областях имиджа (Рисунок 7).

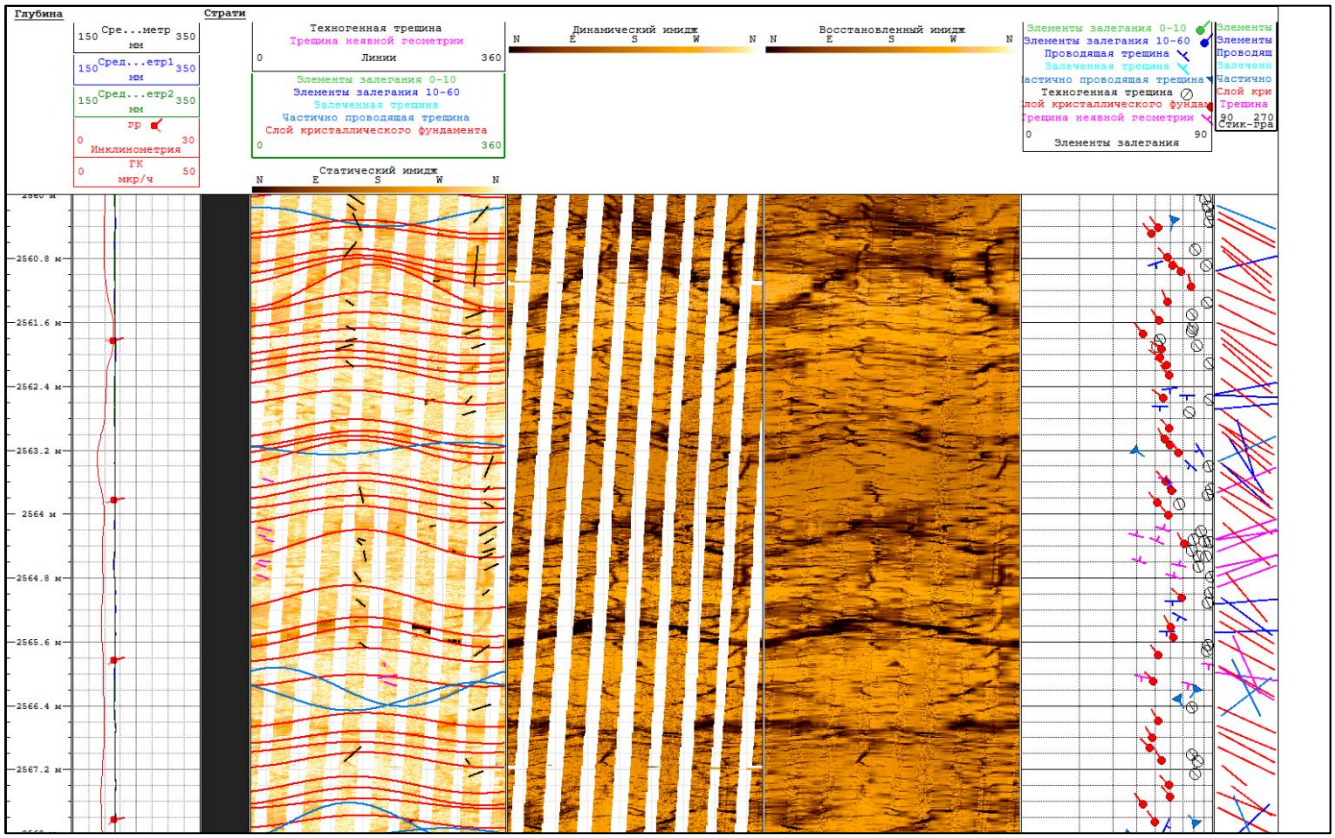


Рисунок 7: Результат восстановления имиджа

10.5. Контроль качества данных

Запись ЭМС производилась в скважине с максимальным углом наклона в 30.1 градуса. Данные акселерометра и магнитометра с модуля инклинометрии были проверены и признаны качественными. Следует отметить, что значения навигационных данных, необходимых для проведения оценки качества, взяты с ресурса «World Magnetic Model Calculator» и могут отличаться от действительных, что может влиять на рассчитанные погрешности измерений. Навигационные данные представлены в таблице 3.

Таблица 3. Навигационные данные

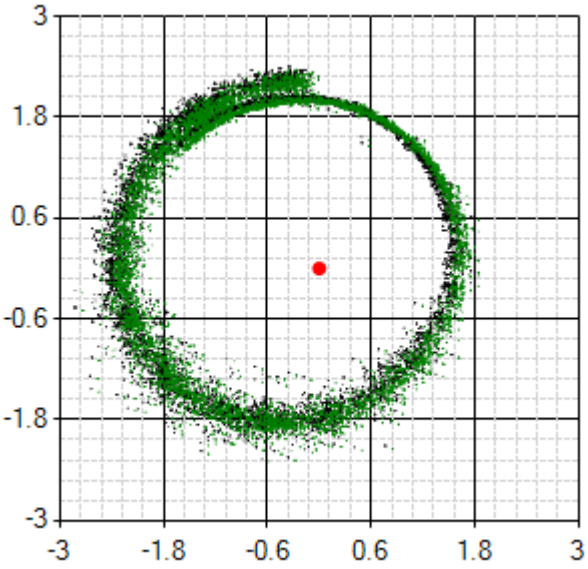
Скв.	Магнитное склонение	Магнитное наклонение	Магнитное поле	Ускорение силы тяжести	Широта	Долгота	Дата
XX	xx	xxxxx	xxxxx	xxx	xx	xx	xx.xx.2020

Погрешности измерений при принятых навигационных параметрах

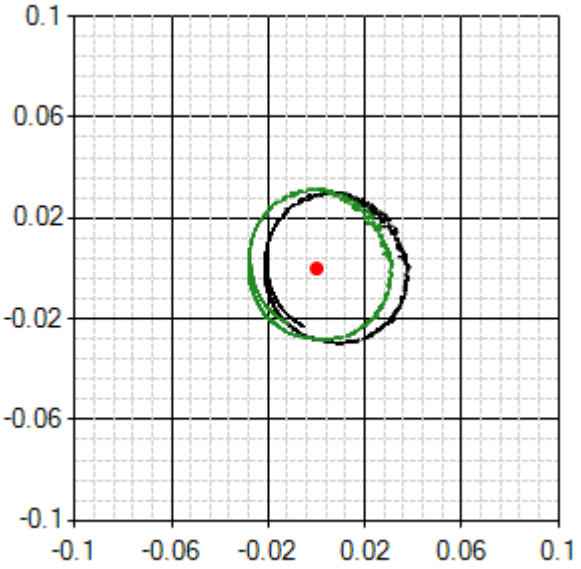
	До коррекции,%	После коррекции,%
По акселерометрам	2.49	0.26
По магнитометрам	4.32	1.23

Кроссплоты акселерометров и магнитометров

Акселерометры Ax-Ay, м/с²



Магнитометры Mx-My, Гаусс



На кросс-плотах изображены данные акселерометра и магнитометра по осям X и Y. Если прибор совершает полный оборот, то хорошим результатом качества данных акселерометра и магнитометра будет полная окружность или облако точек с центром в нуле. Если данные не образуют окружность (или дугу), то

навигационные данные не являются пригодными для использования. В данном случае наблюдается полная окружность. Спиралевидное «закручивание» значений акселерометров и магнитометров обусловлено увеличением наклона скважины.

Качество измеренных сопротивлений признано хорошим для проведения интерпретации.

Существующие причины снижения качества имиджа – размывы скважины.

В случае размыва скважины (Рисунок 8) каверномеры показывают серьезные изменения ствола скважины. Динамический и статический имиджи показывают размытые картинки, которые не имеют четкой границы или поверхности, чтобы точно выбрать структурный элемент для интерпретации.

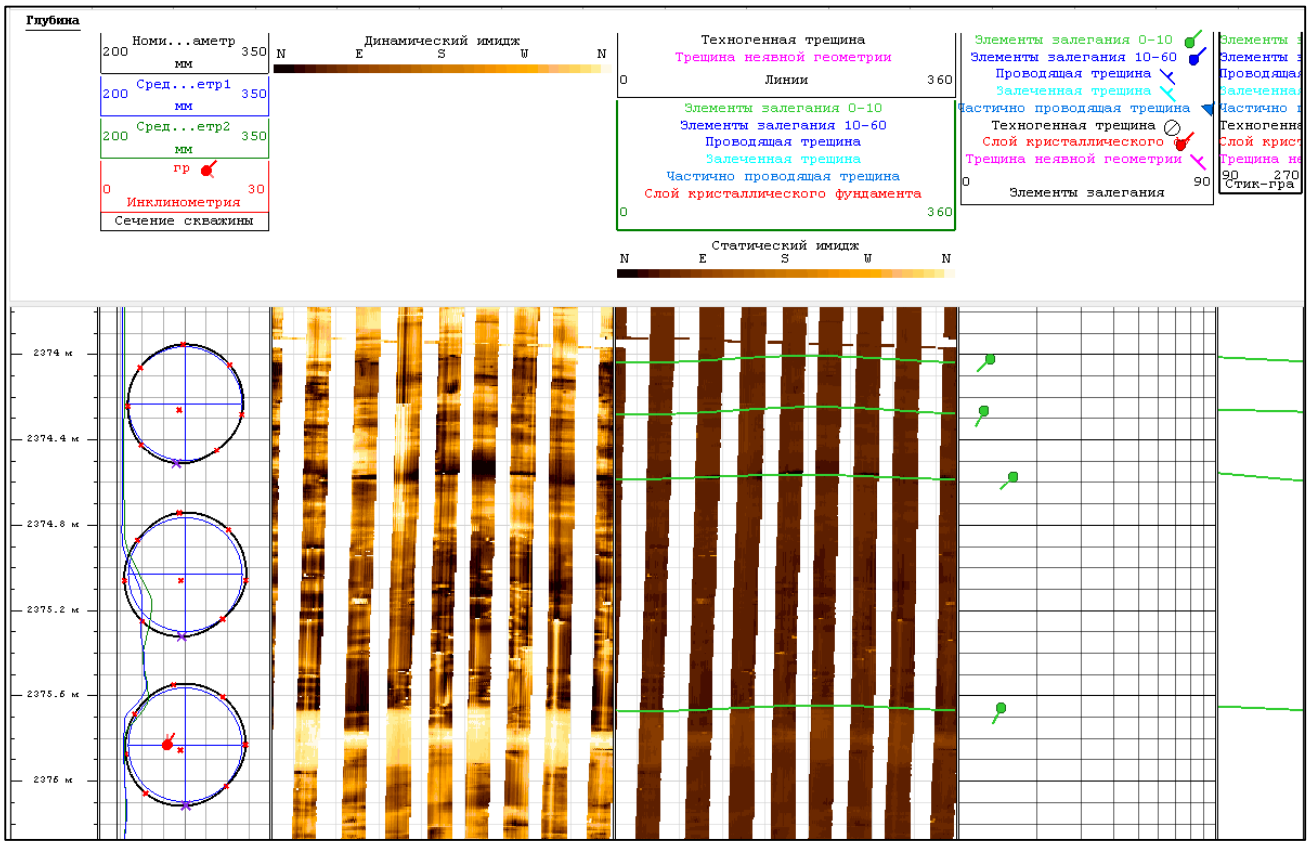


Рисунок 8: Пример размыва скважины.

11. Интерпретация данных ЭМС

Перед интерпретацией ЭМС на XXXXXXX месторождении ставились следующие задачи:

- структурный анализ
- оценка трещиноватости
- определение направлений максимального и минимального горизонтальных напряжений.

Основной принцип интерпретации имиджей состоит в том, что любая вскрытая скважиной поверхность создает эллипс, который при развертке отображается как непрерывная синусоида (Рисунок 9). Высота (амплитуда) синусоид зависит от угла наклона скважины и элементов залегания трещин и пластов.

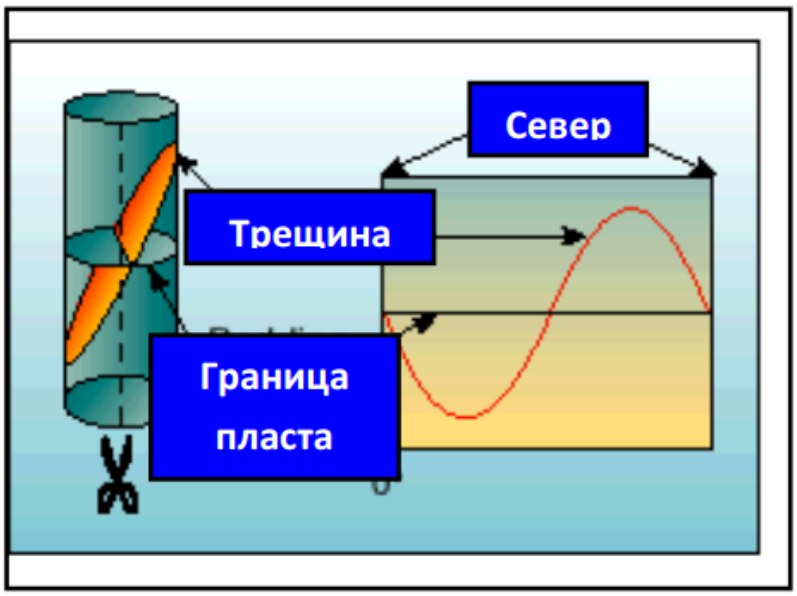


Рисунок 9: Трасса синусоид для вертикальной скважины.

Для вертикальных скважин высота синусоид субгоризонтальных пластов низкая, синусоиды трасс трещин, секущих напластование под большим углом, имеют, наоборот, большую амплитуду.

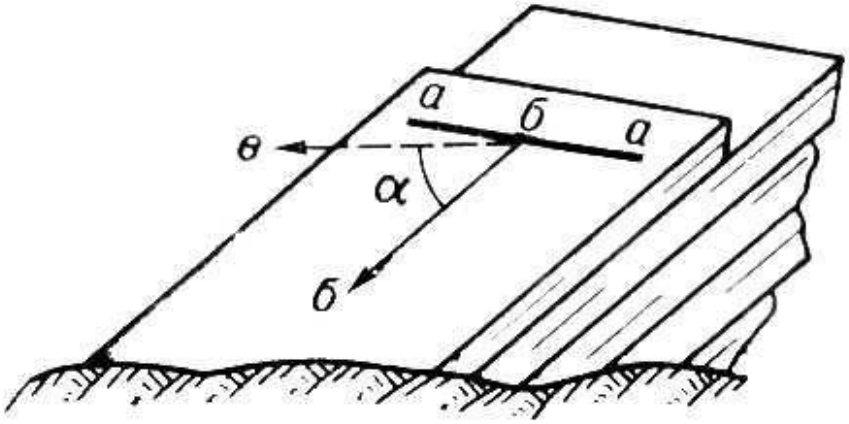


Рисунок 10: Характеристики залегания пластов: (а – линия простирания, б – линия падения, в – проекция линии падения на горизонтальную плоскость, α – угол падения).

Простирание – линия пересечения поверхности пласта, находящегося в наклонном или вертикальном положении, с горизонтальной плоскостью. Направление простирания выражается **азимутом**.

Падение – линия в плоскости пласта, проведенная перпендикулярно к простиранию в направлении наклона пласта. Ориентировка линии падения определяется ее азимутом и углом падения. **Азимут** измеряется по проекции линии падения на горизонтальную плоскость; **угол падения** заключен между линией падения и ее горизонтальной проекцией (Рисунок 10).

Определение углов и азимутов падения пластов было проведено вручную в интервалах исследования 2340-2576м. Были определены следующие структурные геологические элементы: границы пластов, слои кристаллического фундамента, проводящие, частично проводящие, залеченные трещины, которые представлены в виде синусоид и векторов, так называемых "головастиков", а также техногенные трещины и трещины неявной геометрии, представленные в виде линий.

Границы пластов представляют собой границы, определяющие общий характер напластований, который в свою очередь зависит от условий осадконакопления и вторичных изменений. Пласты различаются по литологии, минеральному составу, размеру зерен, наличию кавернозности. На ЭМС имиджах границы пластов идентифицируются с плоскими (планарными) непрерывными синусоидальной формы линиями малой амплитуды в вертикальных и большой амплитуды в горизонтальных скважинах.

Слой кристаллического фундамента – поверхность, проявляющаяся в интервале кристаллического фундамента, иногда непрослеживаемая полностью на имидже. Определить генезис данных поверхностей только по данным ЭМС затруднительно: они могут являться как текстурными "слоистыми" особенностями пород, так и интенсивной трещиноватостью.

Проводящие трещины - нарушение сплошности горных пород без видимого смещений горных пород по поверхности разрыва. На имидже ЭМС проводящие трещины проявляются как непрерывные темные (проводящие) синусоиды, пересекающие напластования. Проводящая электрический ток трещина может быть как открытой, так и заполненной минералами с высокой проводимостью.

Частично проводящие трещины - нарушение сплошности горных пород без видимого смещений горных пород по поверхности разрыва. На имидже ЭМС частично проводящие трещины проявляются как прерывистые темные (проводящие) синусоиды, пересекающие напластования. Проводящая электрический ток трещина может быть, как открытой, так и заполненной минералами с высокой проводимостью.

Залеченные трещины - нарушение сплошности горных пород без видимого смещений горных пород по поверхности разрыва. На имидже ЭМС залеченные трещины проявляются как полные или прерывистые светлые (непроводящие) синусоиды, пересекающие напластования. Непроводящие трещины заполнены или зацементированы непроводящими минералами такими, как кварц, кальцит или иные непроводящие природные минералы (невозможно определить тип минерала только основываясь на данных имиджа ЭМС). Эти трещины непроницаемы и препятствуют свободному продвижению какой-либо жидкости.

Трещины неявной геометрии – несинусоидальная структура, небольшие трещины, размер которых не позволяет пересекать ствол скважины. В данном случае трещины неявной геометрии, вероятно являются полигональными трещинами - трещинами, образованными химическим и механическим обезвоживанием карбонатов или тектоническими процессами. Полигональные трещины выглядят перевито и, поэтому, часто называются «проволочными» трещинами.

Техногенные трещины – несинусоидальная структура, образовавшаяся в процессе бурения. На имидже имеют вид узких симметричных вертикальных полос или фрагментарных наклонных штрихов выдержанного направления на противоположных стенках скважины. Техногенные трещины характеризуются неглубоким проникновением в пласт, поэтому они не представляют собой

большого значения для добычи флюида. В вертикальных и слабонаклонных скважинах ориентация основного направления техногенных трещин является направлением максимального горизонтального стресса.

Условные обозначения, используемые при интерпретации данных ЭМС на скважине XX XXXXXXX месторождения

	Граница пласта, характеризующаяся углом падения 0-10 градусов	Зеленый (круг)
	Граница пласта, характеризующаяся углом падения 10-60 градусов	Синий (круг)
	Слой кристаллического фундамента	Красный (круг)
	Проводящая трещина	Синий (прямоугольник)
	Частично-проводящая трещина	Темно-синий (треугольник вверх)
	Залеченная трещина	Бирюзовый (прямоугольник)
	Трещина неявной геометрии	Розовый (прямоугольник)
	Техногенные трещины	Черный (полый внутри круг)

Описание планшета «Результаты интерпретации данных ЭМС», масштаб 1:40.

Фрагмент планшета представлен на рисунке 11. Нумерация треков приведена слева направо. В первом треке представлена шкала глубин.

Во втором треке представлены следующие кривые: номинальный диаметр скважины, средний диаметр; а также отклонение скважины – схематичное изображение данных инклинометрии в виде головастиков красного цвета, таких как изображен ниже:

положение головастика отображает угол наклона скважины, направление длинного хвостика – азимут наклона скважины, направление короткого хвостика – поворот прибора. На планшете в масштабе 1: 200 на второй трек также нанесено схематическое изображение ствола скважины, построенное по данным профилеметрии.

В третьем треке представлен динамический имидж ЭМС, в четвертом – статический имидж с выделенными на нем элементами.

В пятом треке представлены углы и азимуты падения выделенных на имидже элементов, в шестом – стик-плот выделенных элементов.

Следует отметить что при увязке данных ЭМС использовались также данные окончательного каротажа (в том числе МБК), предоставленные Заказчиком.

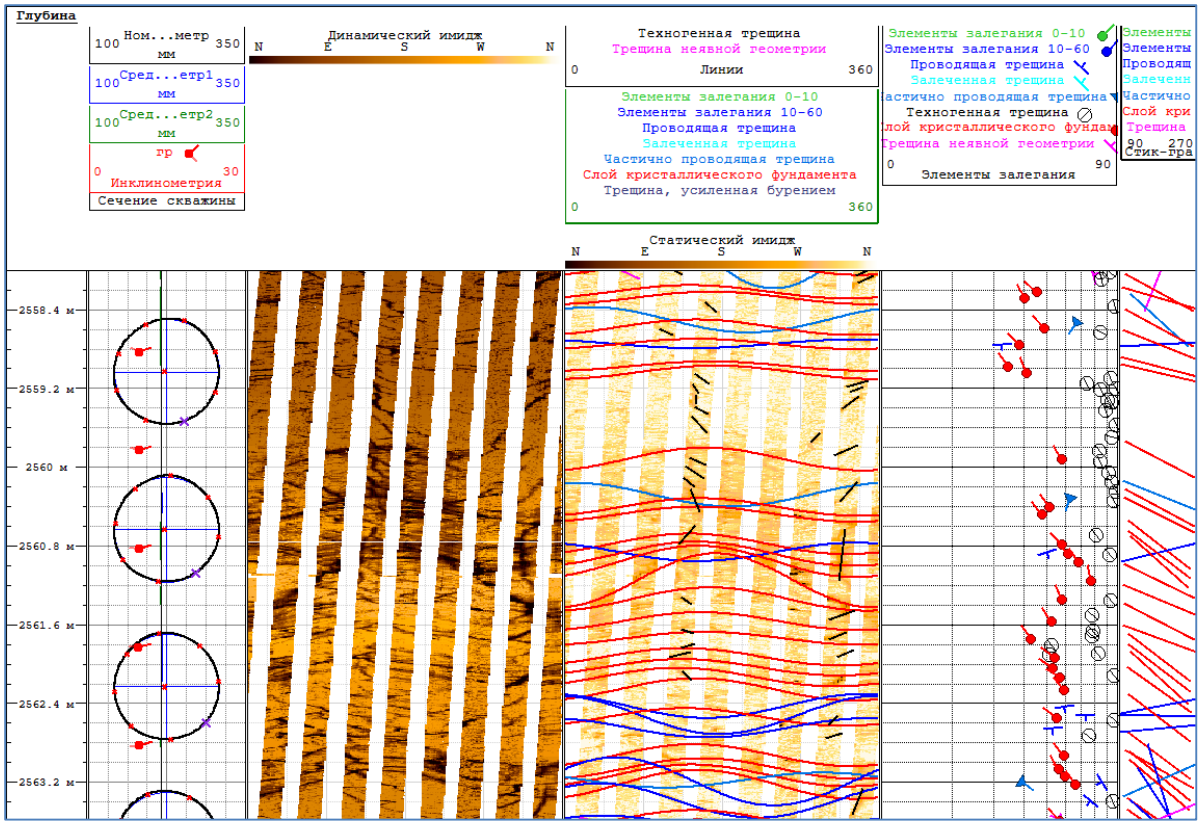


Рисунок 11: Пример планшета «Результаты интерпретации данных ЭМС».

11.1. Структурный анализ.

Структурный анализ углов падения включает идентификацию границ пластов, а также статистический анализ распределения углов падения и направления падения границ пластов.

Круговая стереограмма показывает элементы залегания пластов в интервале исследования, на которой вершина круга – север и угол наклона возрастает от 0° в центре до 90°на внешней окружности.

Падение напластований в интервале 2340.0-2496.5м характеризуется Юго-Западным направлением (ЮЗ). Угол наклона пластов - в основном до 24°. Падение слоев кристаллического фундамента в интервале 2496.5-2576.0м характеризуется Северо-Западным направлением (СЗ). Угол наклона слоев кристаллического фундамента - в основном до 60° (Рисунок 12).

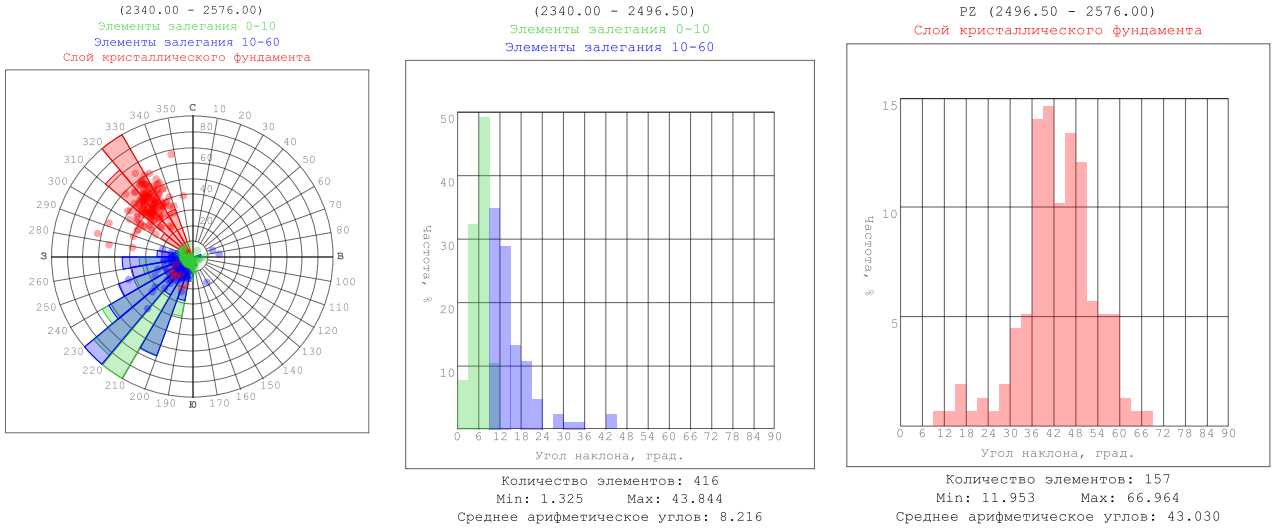


Рисунок 12: Стереограмма и гистограмма углов падения напластований и слоев кристаллического фундамента в интервале 2340.0-2576.0м.

Обзорные диаграммы наклонометрии структурных элементов представлены на рисунках 13,14.

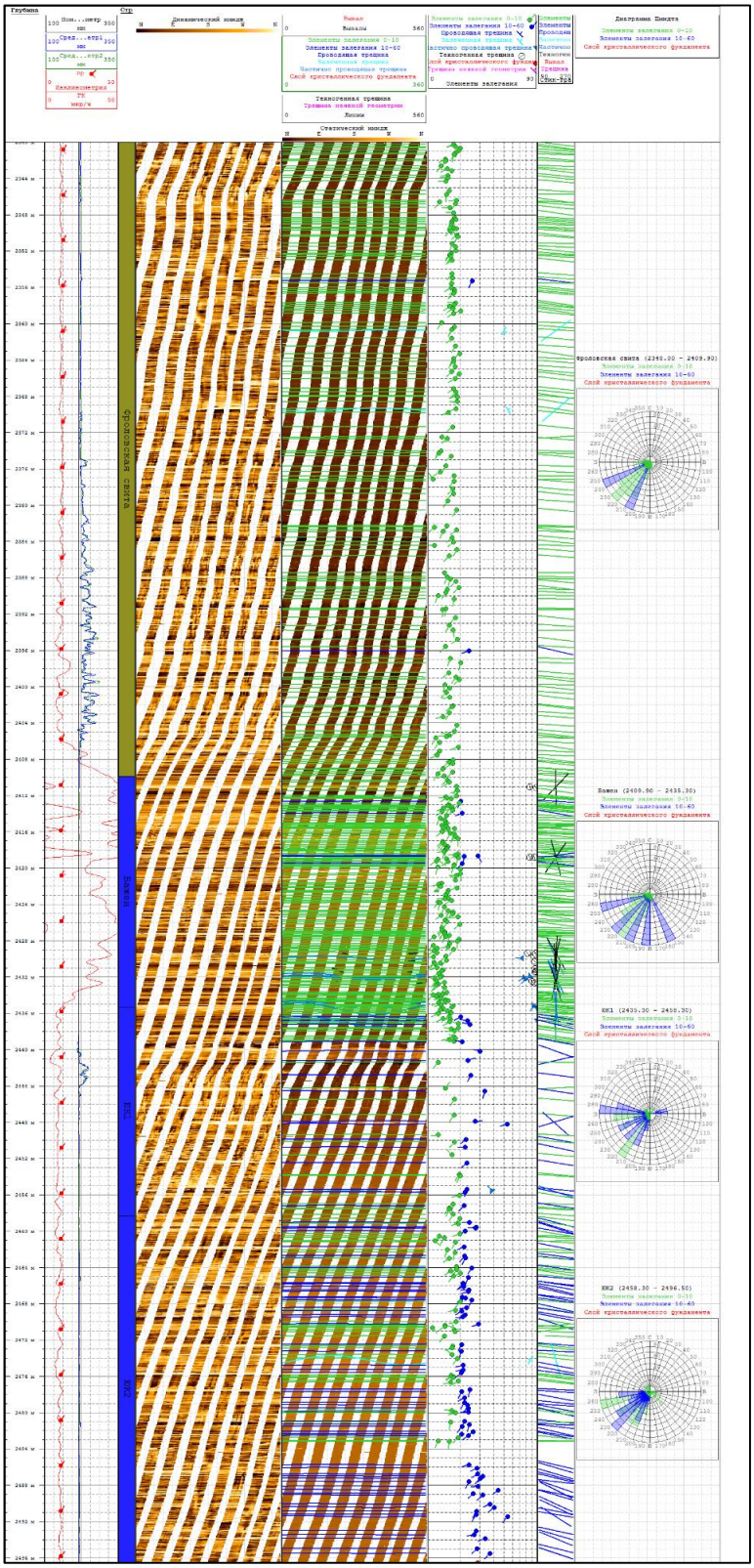


Рисунок 13: Структурная диаграмма наклонометрии в интервале фроловская свита –ЮК2.

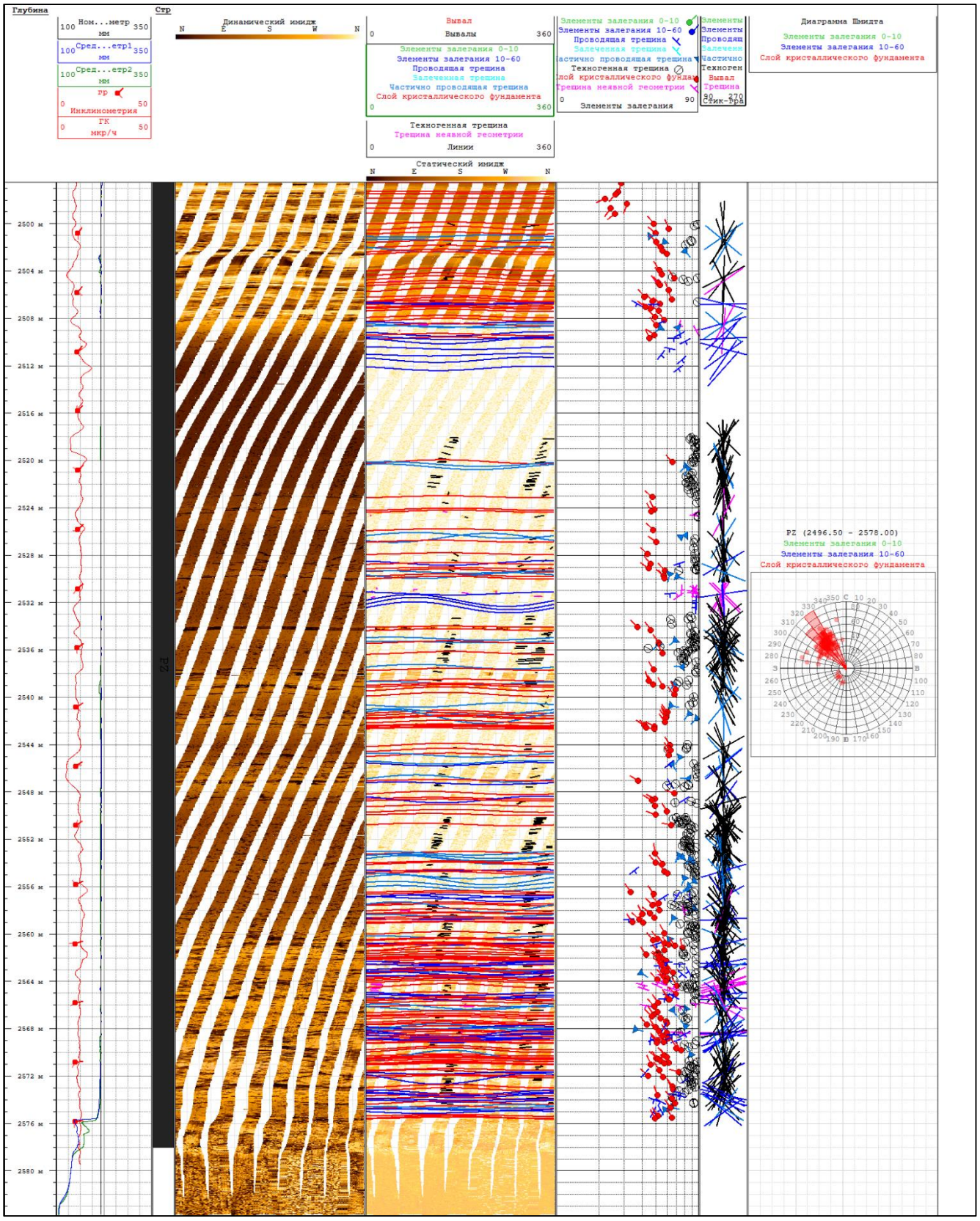


Рисунок 14: Структурная диаграмма наклонометрии в интервале PZ.

Фроловская свита

Напластования характеризуются Юго-Западным (ЮЗ) направлением падения. Минимальный угол падения составляет 1.5°, максимальный – 15.5°, средний – 7.0° (Рисунок 15,16).

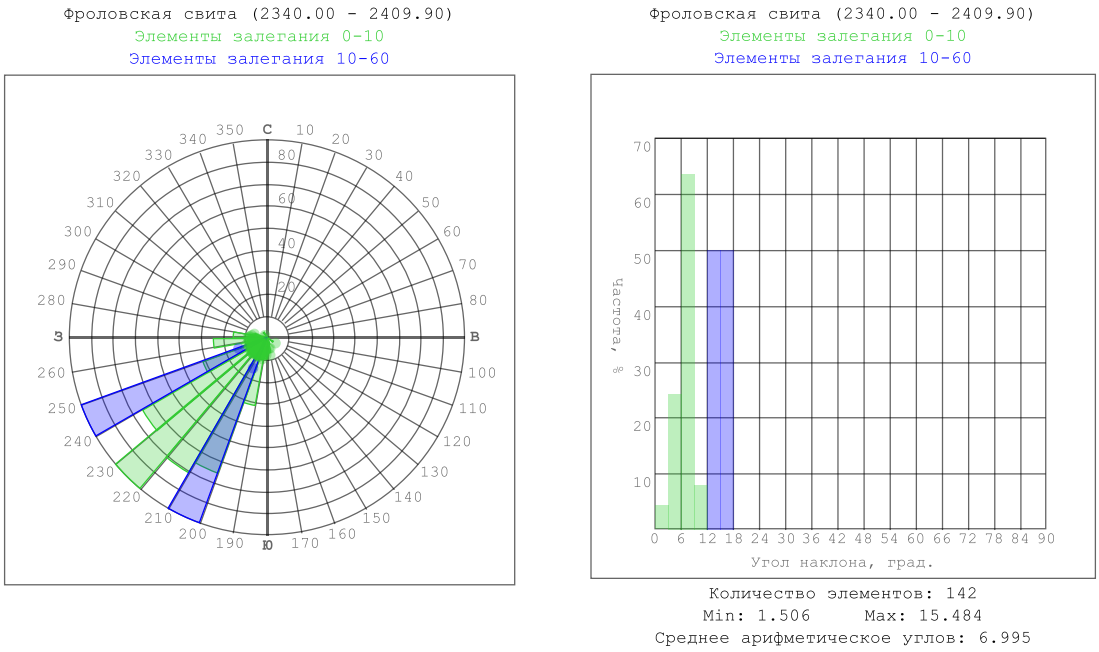


Рисунок 15: Стереограмма и гистограмма углов падения пластов фроловской свиты, интервал глубин 2340.0-2409.9м.

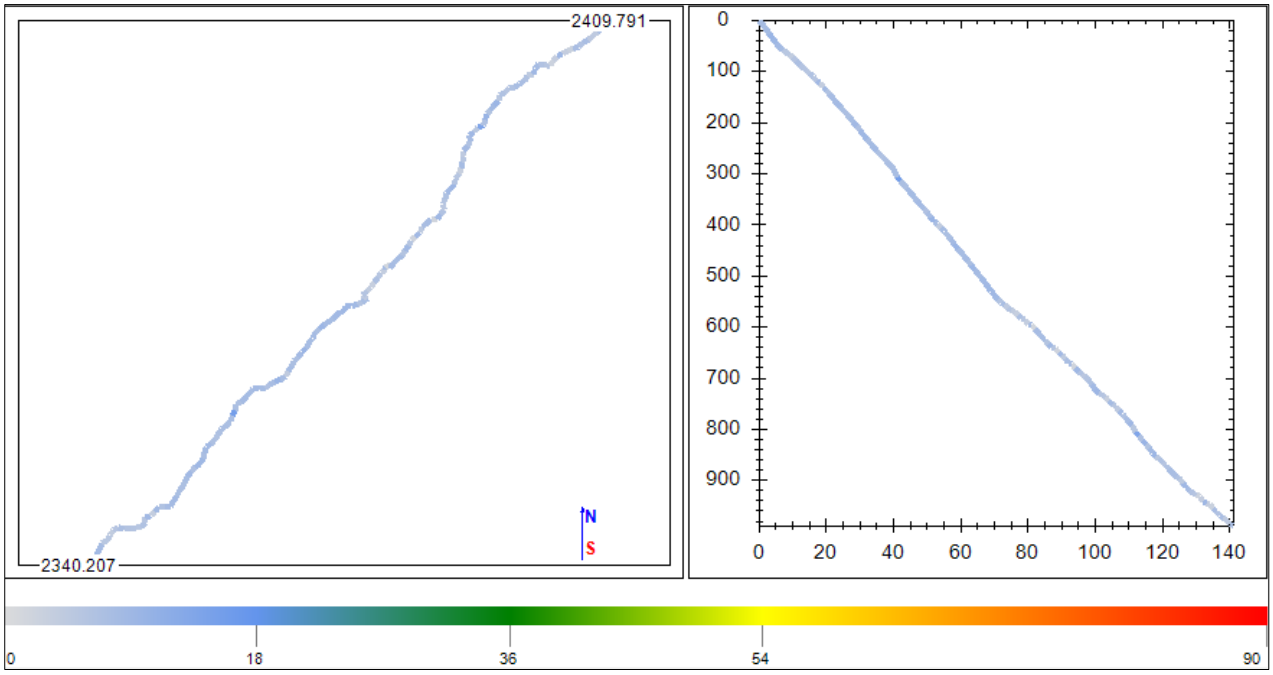


Рисунок 16: Векторная диаграмма «Угол падения – Азимут падения» и Кумулятивная кривая углов падения пластов фроловской свиты, интервал глубин 2340.0-2409.9м.

Баженовская свита, ЮК0

Для данного интервала характерно преобладание Юго-Западного (ЮЗ) направления падения пластов. Минимальный угол падения составляет 1.5°, максимальный – 18.7°, средний – 5.8° (Рисунок 17,18).

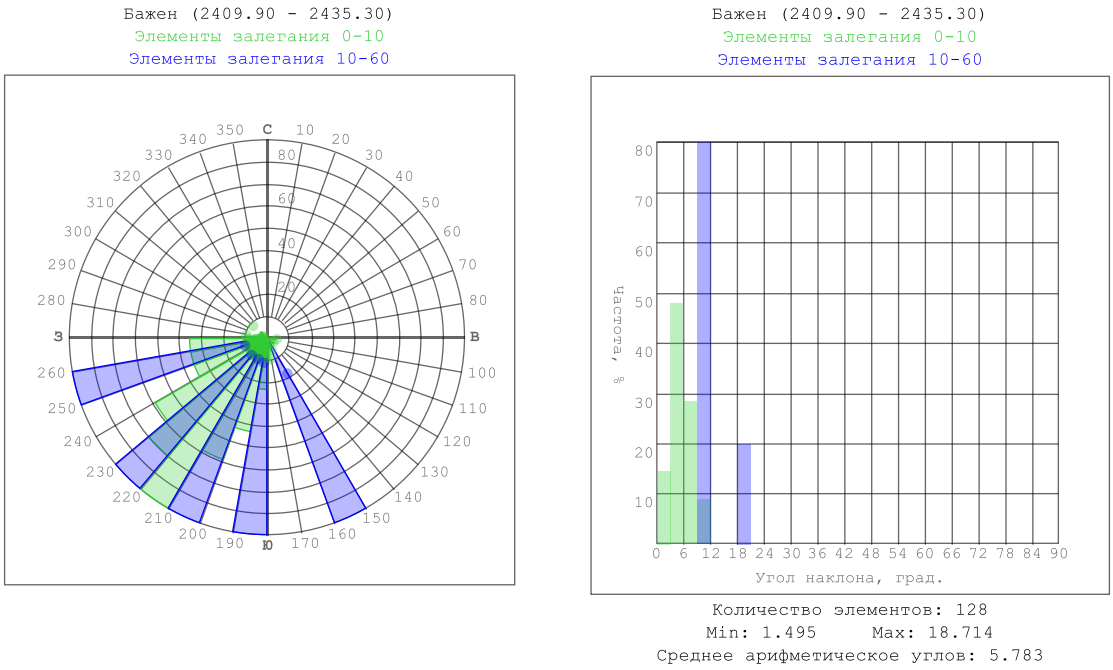


Рисунок 17: Стереограмма и гистограмма углов падения пластов баженовской свиты, интервал глубин 2409.9-2435.3м.

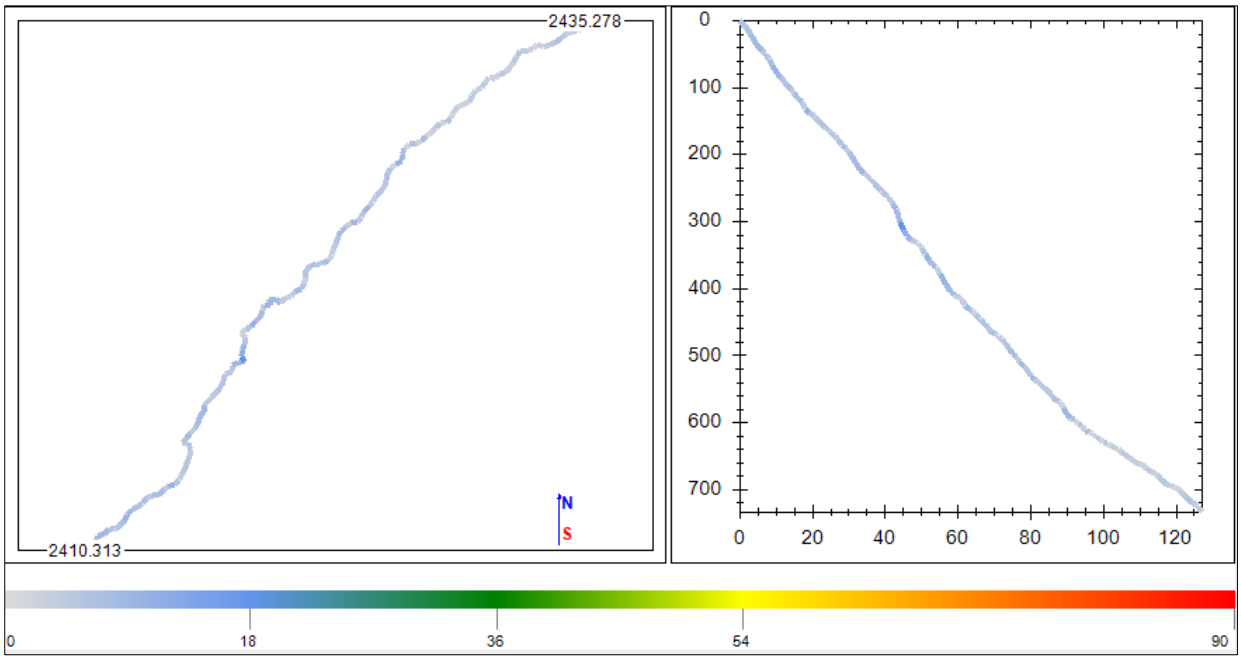


Рисунок 18: Векторная диаграмма «Угол падения – Азимут падения» и Кумулятивная кривая углов падения пластов баженовской свиты, интервал глубин 2409.9-2435.3м.

ЮК 1

Падение меняется от Юго-Западного (ЮЗ) до Западного (З) направления. Минимальный угол падения составляет 3.1°, максимальный – 43.6°, средний – 9.9° (Рисунок 19,20).

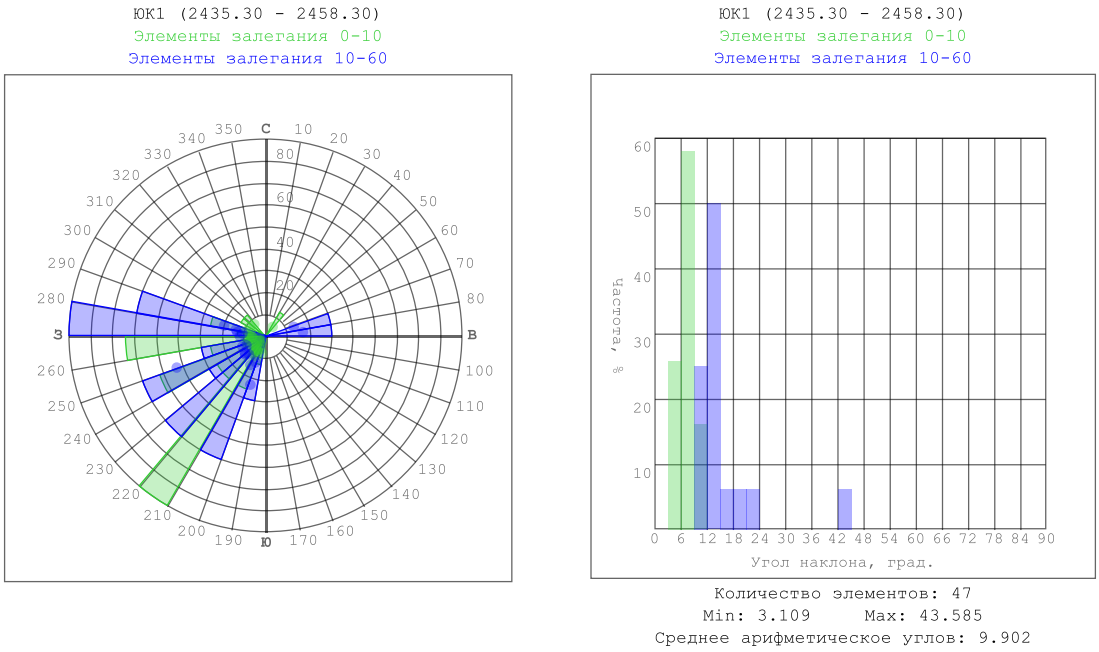


Рисунок 19: Стереограмма и гистограмма углов падения пластов ЮК1, интервал глубин 2435.3-2458.3м.

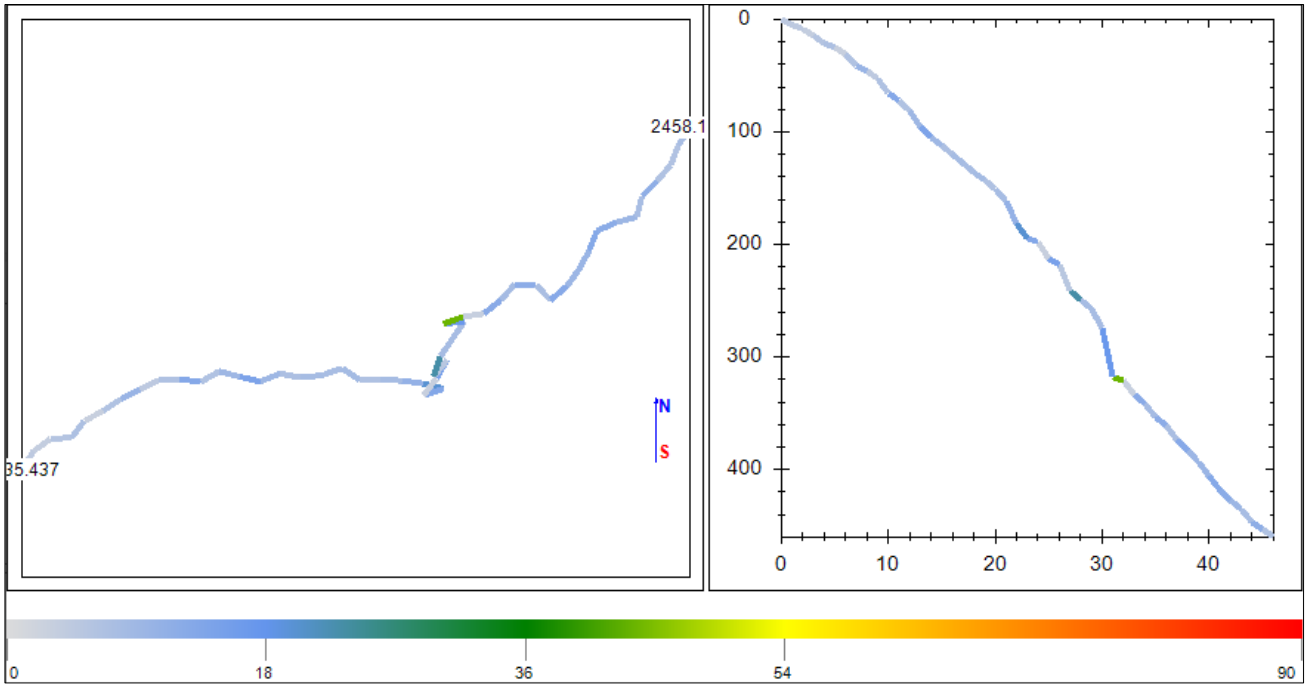


Рисунок 20: Векторная диаграмма «Угол падения – Азимут падения» и Кумулятивная кривая углов падения ЮК1, интервал глубин 2435.3-2458.3м.

ЮК 2

Падение меняется от Юго-Западного (ЮЗ) до Западного (З) направления. Минимальный угол падения составляет 1.3°, максимальный – 43.8°, средний – 12.3° (Рисунок 21,22)

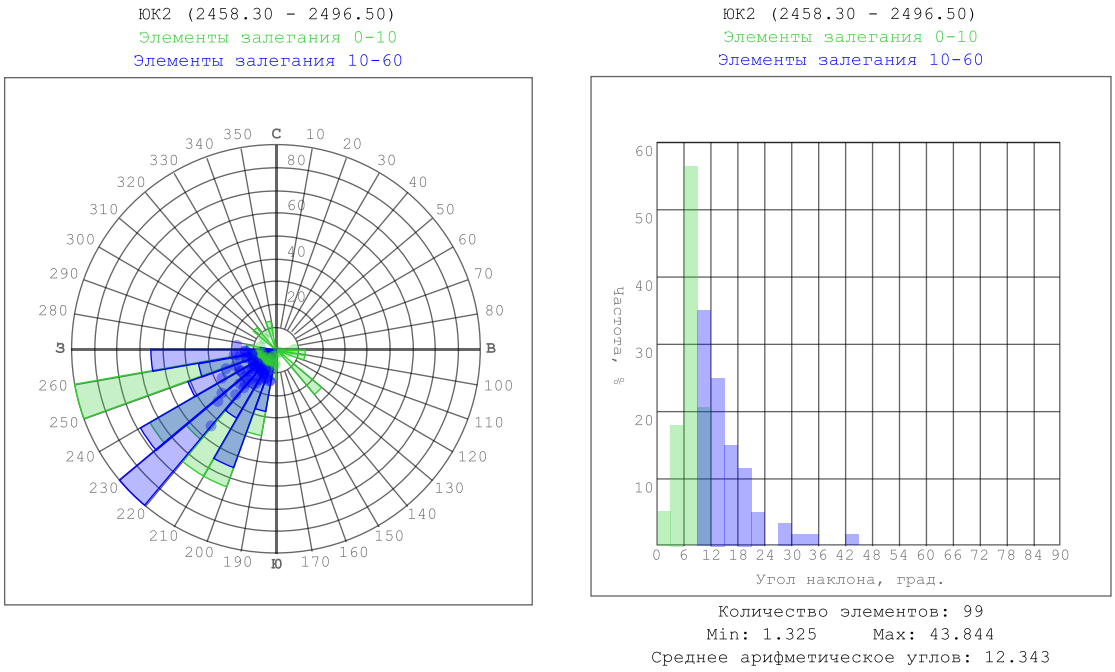


Рисунок 21: Стереограмма и гистограмма углов падения пластов ЮК2, интервал глубин 2458.3-2496.5м.

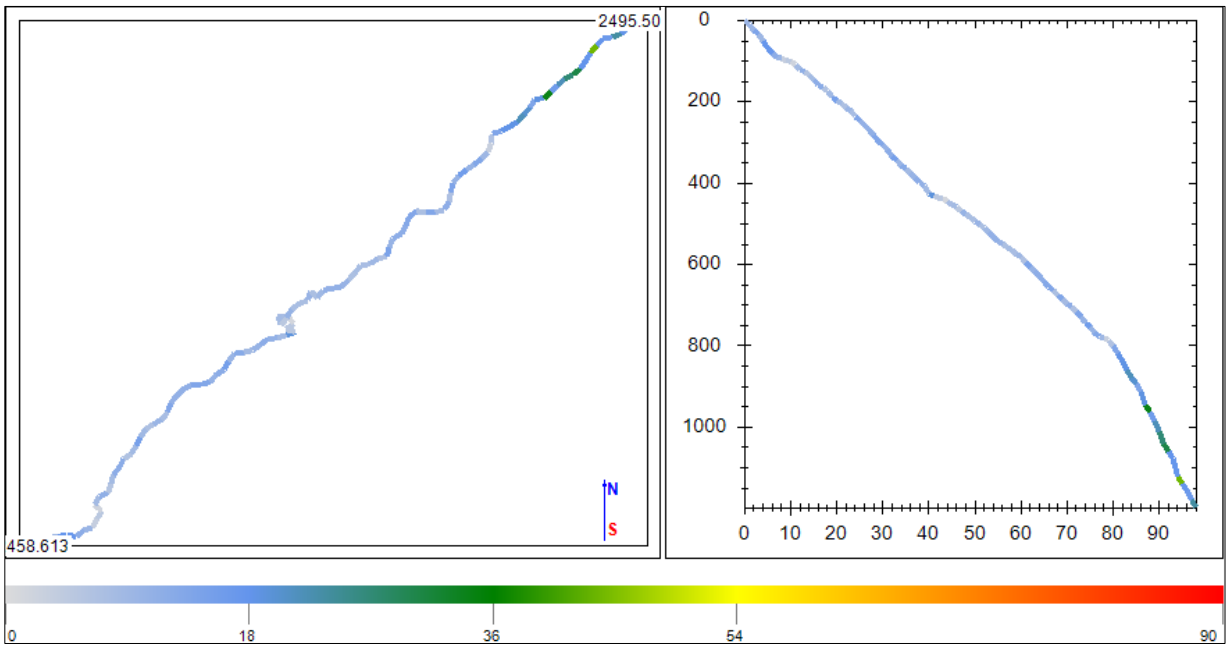


Рисунок 22: Векторная диаграмма «Угол падения – Азимут падения» и Кумулятивная кривая углов падения пластов ЮК2, интервал глубин 2458.3-2496.5м.

Кристаллический фундамент, PZ

Падение слоев кристаллического фундамента характеризуется Северо-Западным направлением (СЗ). Минимальный угол падения составляет 11.9°, максимальный – 67.0°, средний – 43.0° (Рисунок 23,24).

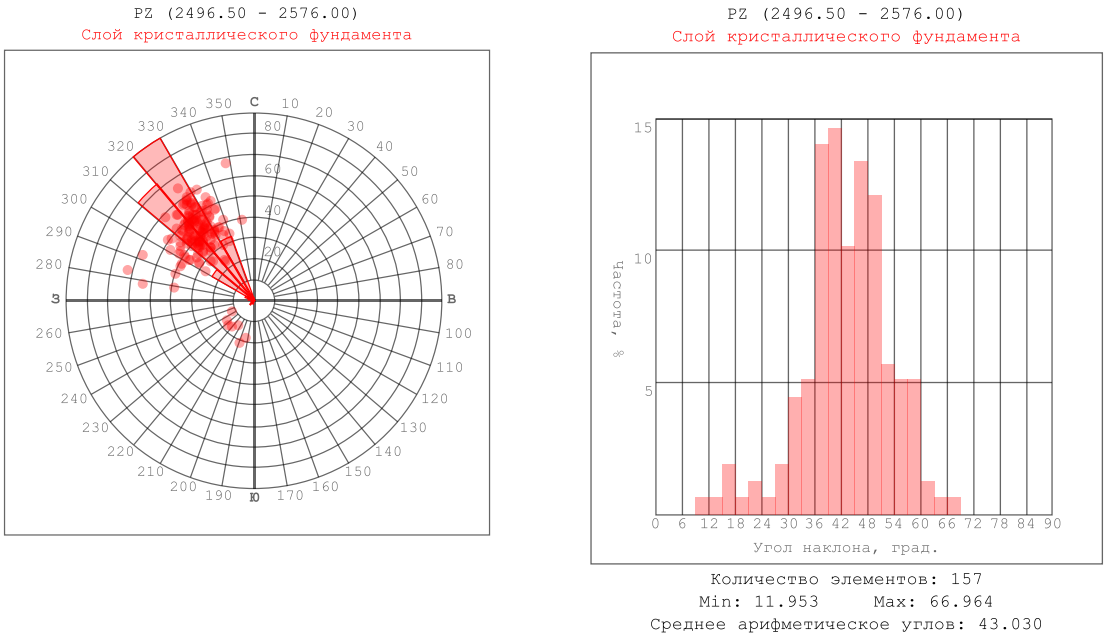


Рисунок 23: Стереограмма и гистограмма углов падения пластов PZ, интервал глубин 2496.5-2576.0м.

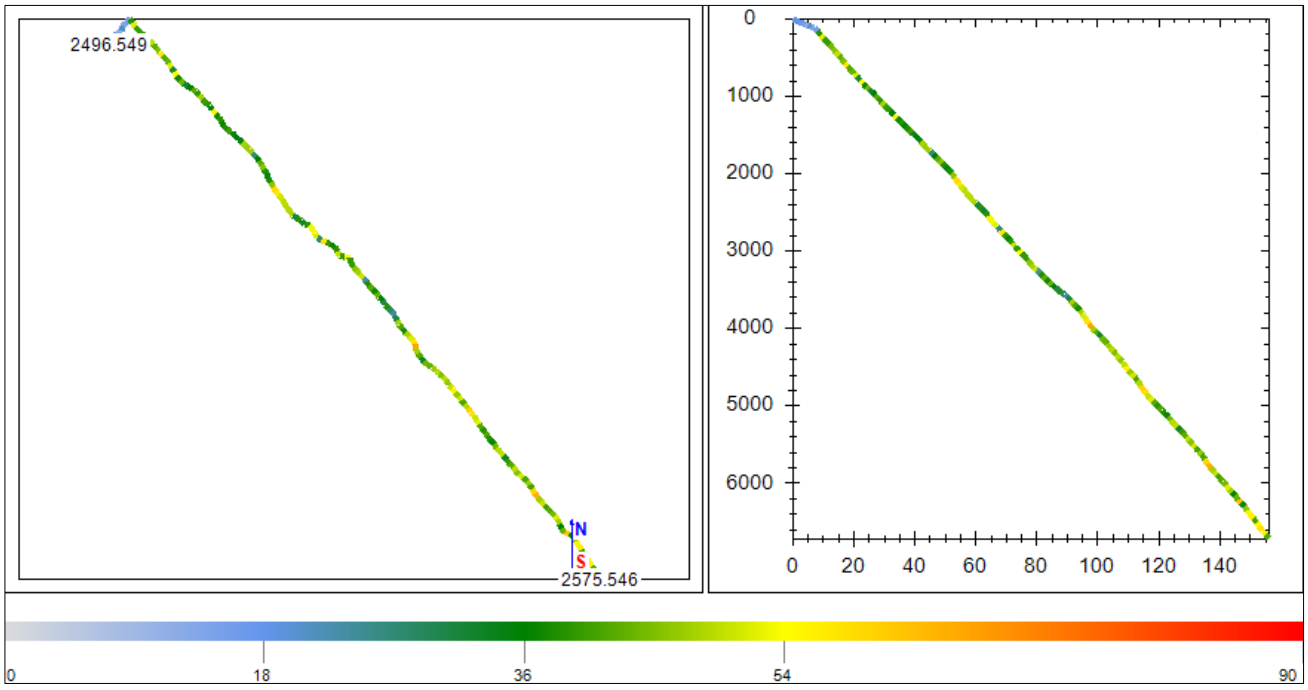


Рисунок 24: Векторная диаграмма «Угол падения – Азимут падения» и Кумулятивная кривая углов падения пластов PZ, интервал глубин 2496.5-2576.0м.

11.2. Анализ трещиноватости

Трещины, выделяемые на ЭМС имиджах представлены высоко амплитудными синусоидами в вертикально пробуренных скважинах и низко амплитудными - в горизонтальных. Трещины могут быть условно разделены на естественные и созданные в процессе бурения. Естественные трещины, заполненные проводящим материалом, отмечаются на имидже темным цветом, заполненные непроводящим материалом - светлым цветом.

11.2.1. Проводящие трещины

Проводящие трещины на имидже ЭМС проявляются как непрерывные темные (проводящие) синусоиды, пересекающие напластования. Трещины, отнесенные к данной категории, могут быть как открытыми, запененными проводящим фильтратом бурового раствора, так и залеченными минералами с высокой проводимостью (например, глинистыми или пиритом) и не участвовать в фильтрации флюида при разработке. Однозначно выделить такие залеченные непроводящим материалом трещины исключительно по данным ЭМС не представляется возможным, необходимо привлечение дополнительных данных.

Проводящие трещины обнаружены только в интервале кристаллического фундамента имеют в основном Северо-Восточное – Юго-Западное (СВ-ЮЗ) направление простирания. (Рисунок 25,26).

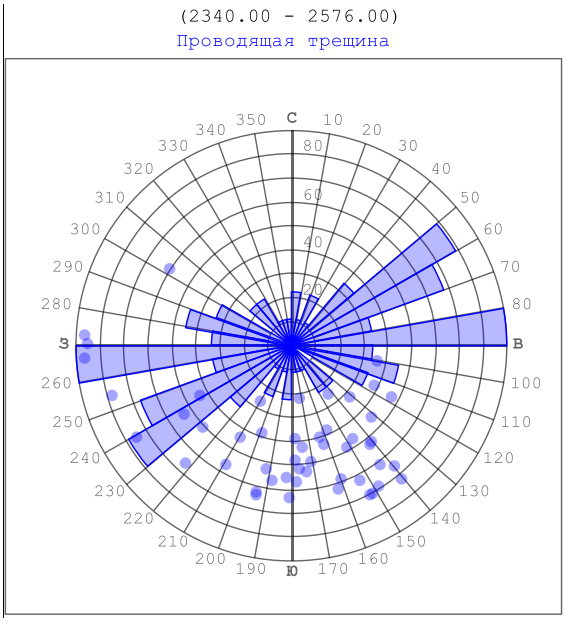


Рисунок 25: Стереограмма, простирание проводящих трещин

Пример интервала с проводящими трещинами представлен на рисунке 26.

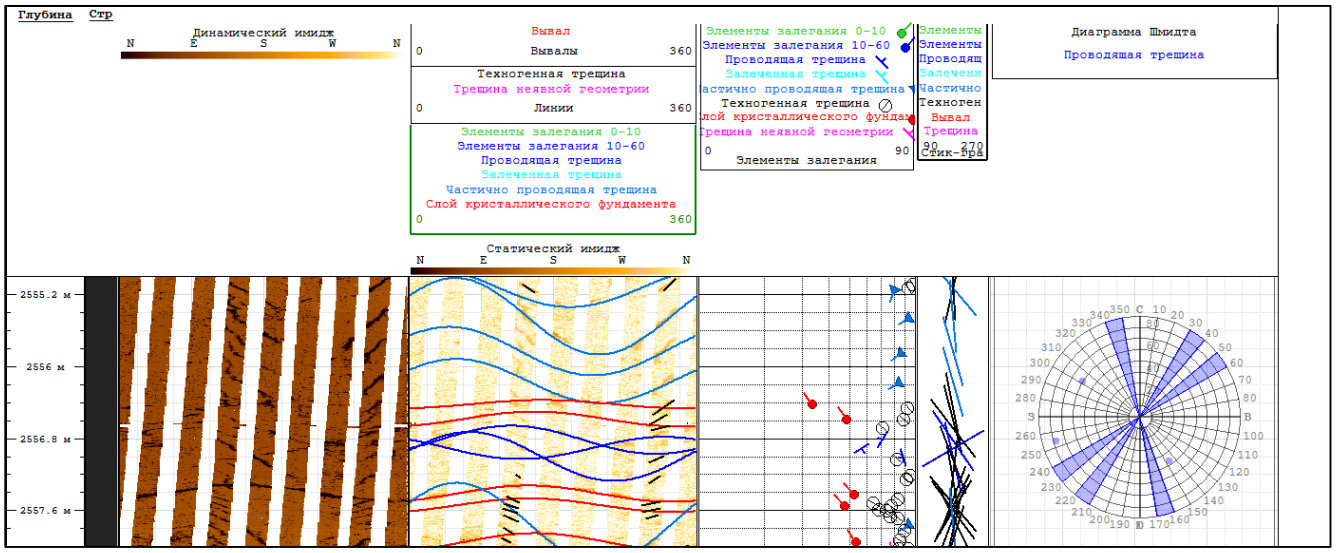


Рисунок 26: Пример выделения проводящих трещин.

11.2.2. Частично проводящие трещины

Большинство трасс трещин, заполненных проводящим материалом, видны на имидже не полностью, что говорит об их частичной раскрытости. Трещины, отнесенные к данной категории, могут быть как открытыми, запененными проводящим фильтратом бурового раствора, так и залеченными минералами с высокой проводимостью (например, глинистыми или пиритом) и не участвовать в фильтрации флюида при разработке. Однозначно выделить такие залеченные непроводящим материалом трещины исключительно по данным ЭМС не представляется возможным, необходимо привлечение дополнительных данных.

Частично проводящие трещины в интервале исследования имеют в основном Северо-Западное – Юго-Восточное (СЗ-ЮВ) направление простирания. (Рисунок 27,28).

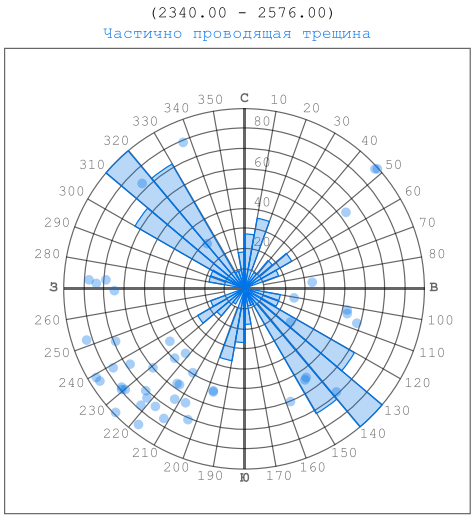


Рисунок 27: Стереограмма, простирание частично проводящих трещин в интервале 2340.0-2576.0м

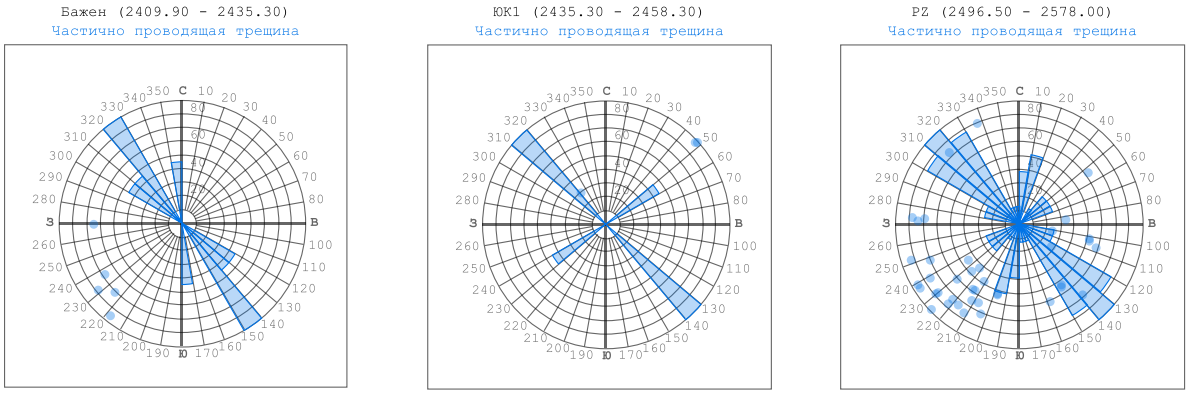


Рисунок 28: Стереограмма, простирание частично проводящих трещин в интервале Баженовской свиты (слева), ЮК1 (в центре), кристаллического фундамента (справа).

Пример интервала с частично проводящими трещинами представлен на рисунке 29.

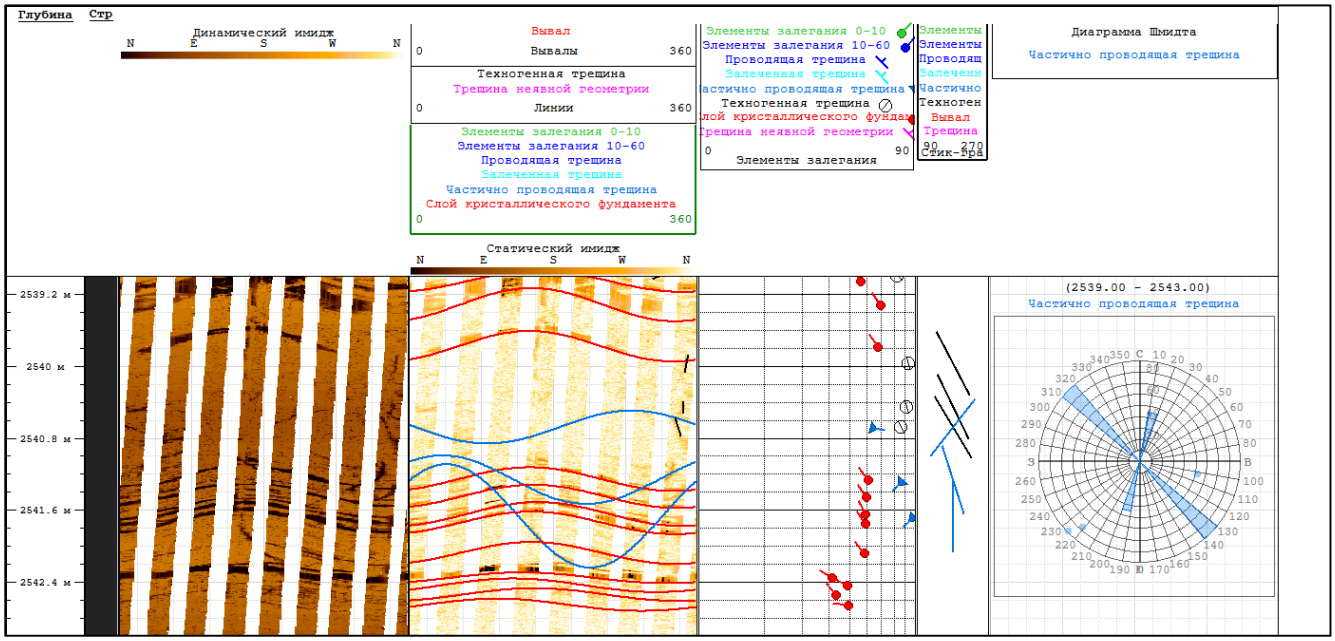


Рисунок 29: Пример выделения частично проводящих трещин.

11.2.3. Залеченные трещины

Залеченные трещины заполнены или зацементированы непроводящими минералами (например, кварц, кальцит). Эти трещины непроницаемы и препятствуют свободному продвижению какой-либо жидкости.

Залеченные трещины имеют различное направление простирания (Рисунок 30,31).

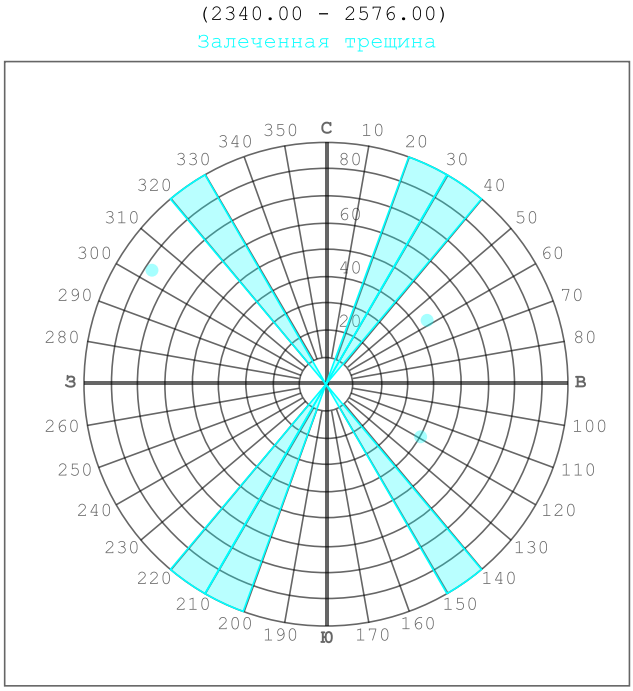


Рисунок 30: Стереограмма, простирание залеченных трещин в интервале 2340.0-2576.0м

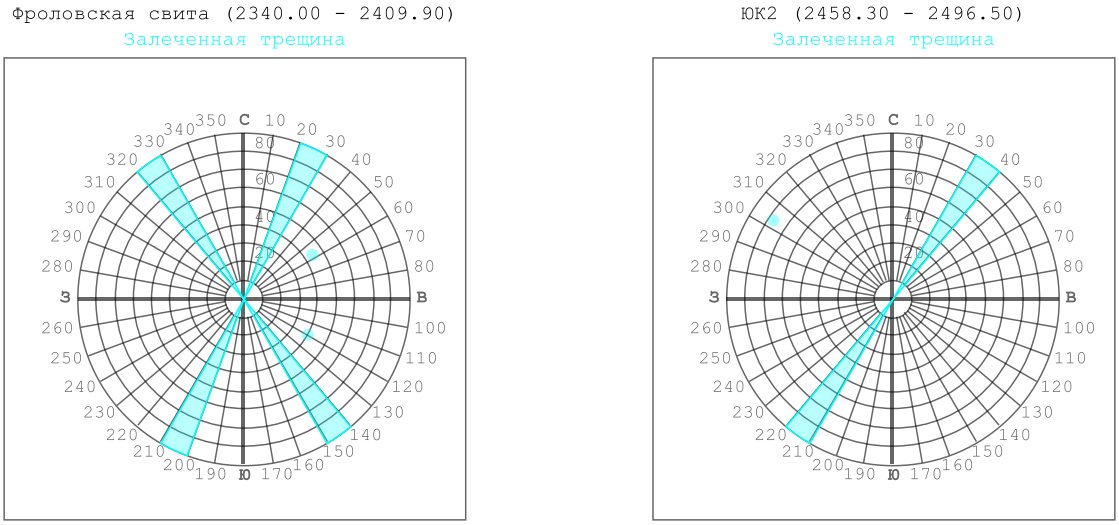


Рисунок 31: Стереограмма, простирание залеченных трещин в интервале фроловской свиты (слева) и ЮК2 (справа).

Примеры интервалов с залеченными трещинами представлены на рисунке 41.

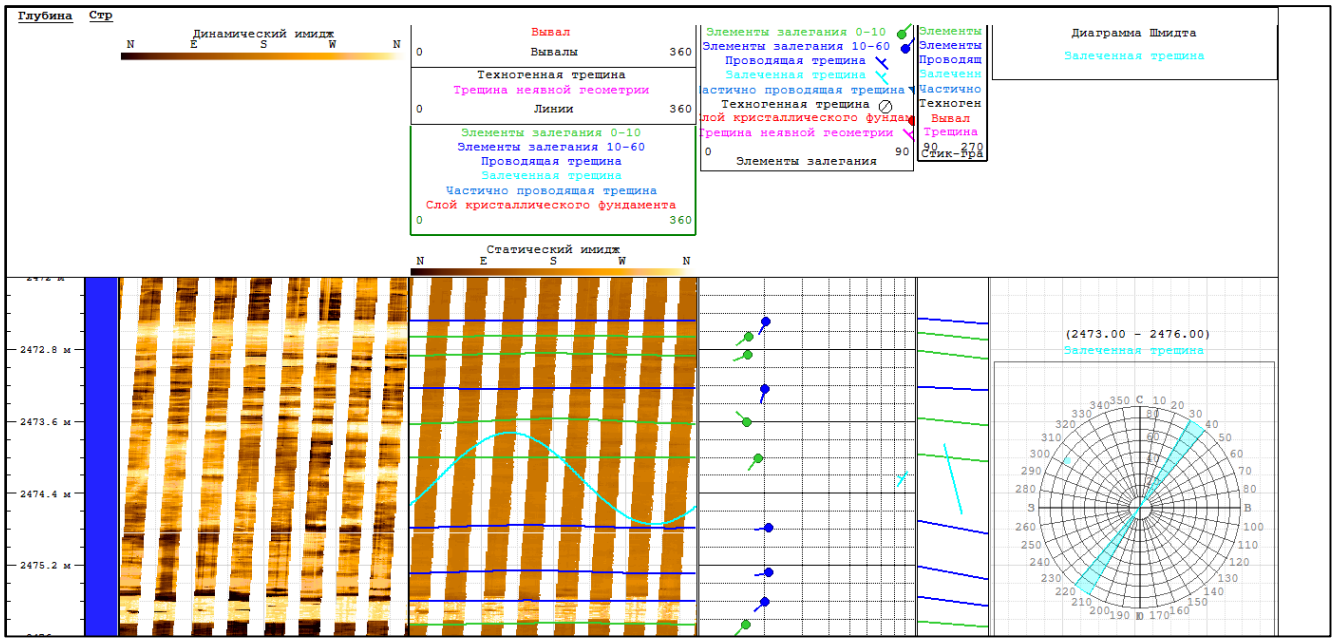


Рисунок 32: Пример выделения залеченных трещин.

11.2.4. Трещины неявной геометрии

В интервале 2340.0-2576.0м были выявлены трещины неявной геометрии, которые на имидже имеют несинусоидальный вид (обычно в виде линии) (Рисунок 33). Данные трещины могут иметь как естественный, так и техногенный генезис.

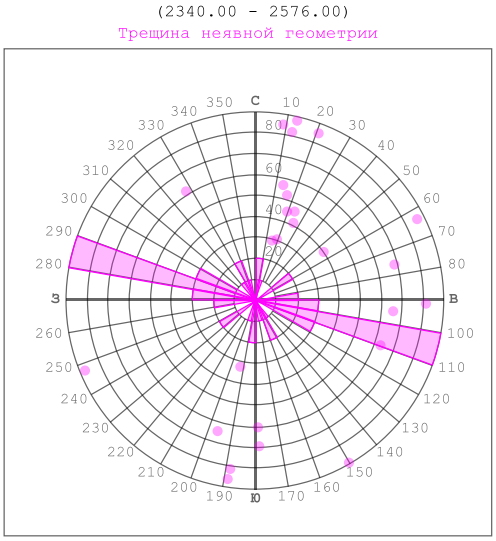


Рисунок 33: Стереограмма, простирание трещин неявной геометрии в интервале 2340.0-2576.0м.

Пример интервала с трещинами неявной геометрии представлен на рисунке 34.

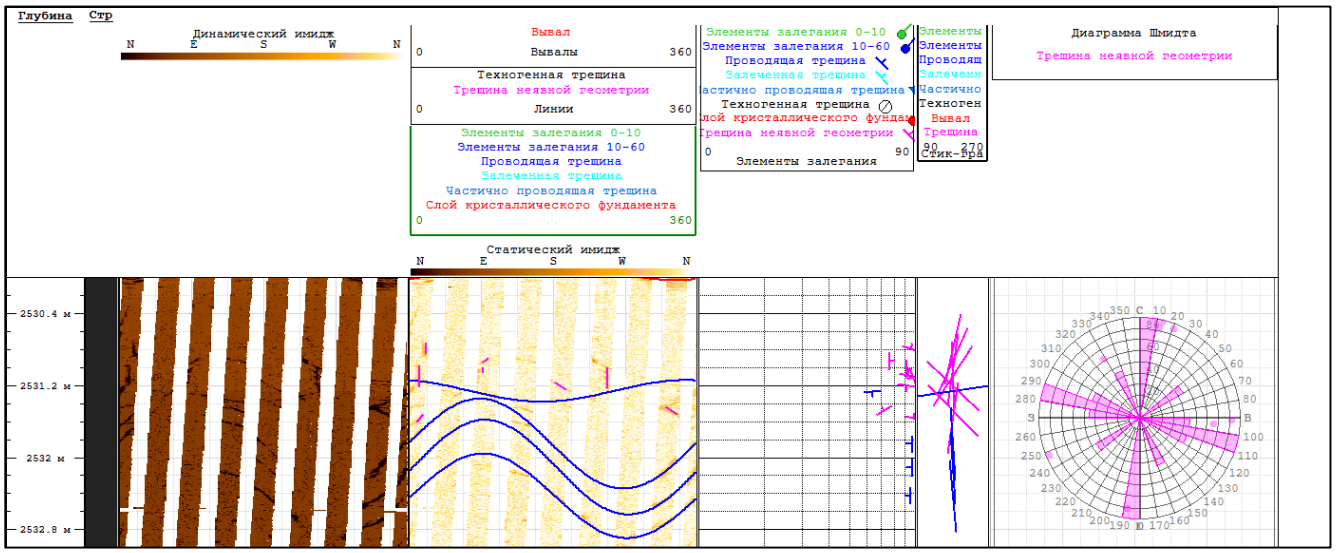


Рисунок 34: Пример выделения трещин неявной геометрии.

11.3. Оценка состояния ствола скважины

В процессе бурения в скважине могут образовываться техногенные трещины и вывалы, направление которых напрямую связано с распределением напряжений у границ ствола.

Техногенные трещины – трещины, возникающие в процессе бурения. На имидже техногенные трещины проявляются в виде узких непрерывных полос или в виде наклонных штрихов на противоположных сторонах скважины.

Вывалы определяются как увеличение диаметра скважины по одной из ее осей в следствие обрушения стенок скважины. На имидже вывалы зачастую представляют собой прямоугольную структуру с плохим контрастом сопротивлений в силу ненадлежащего прижатия башмаков к стенкам скважины.

Наличие техногенных трещин или вывалов стенок скважины позволяет оценить направление максимального и минимального стресса.

В вертикальных и слабонаклонных скважинах, направление вывалов стенок скважины приурочено к направлению минимального горизонтального стресса, направление техногенных трещин – к направлению максимального горизонтального стресса (Рисунок 35).

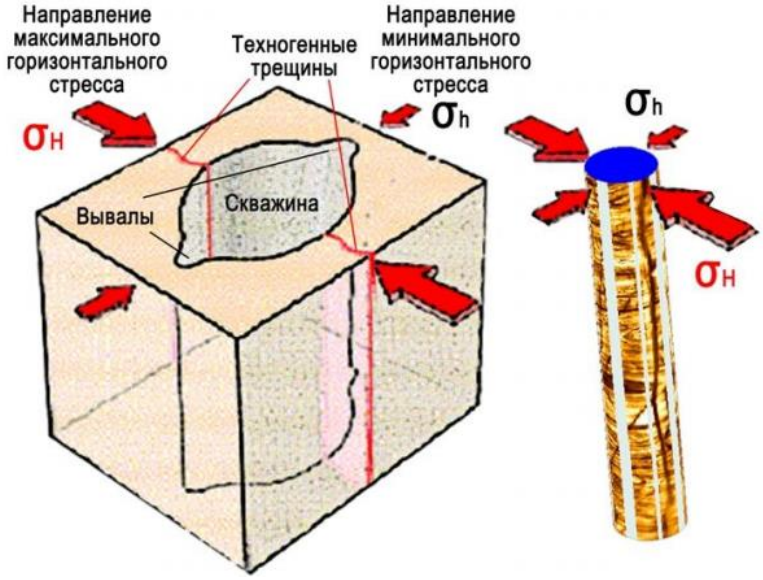


Рисунок 35: Схема образования техногенных трещин и вывалов стенок скважины.

Круговая стереограмма для техногенных трещин во всем интервале исследований представлена на рисунке 36.

Направление техногенных трещин – Северо-Запад – Юго-Восток (СЗ-ЮВ).

В связи с большим углом наклона скважины связывать направление техногенных трещин с направлением максимального горизонтального напряжения некорректно.

Рисунок 36: Стереограмма, направление техногенных трещин во всем интервале исследований.

Пример интервала с техногенными трещинами представлен на рисунке 37.

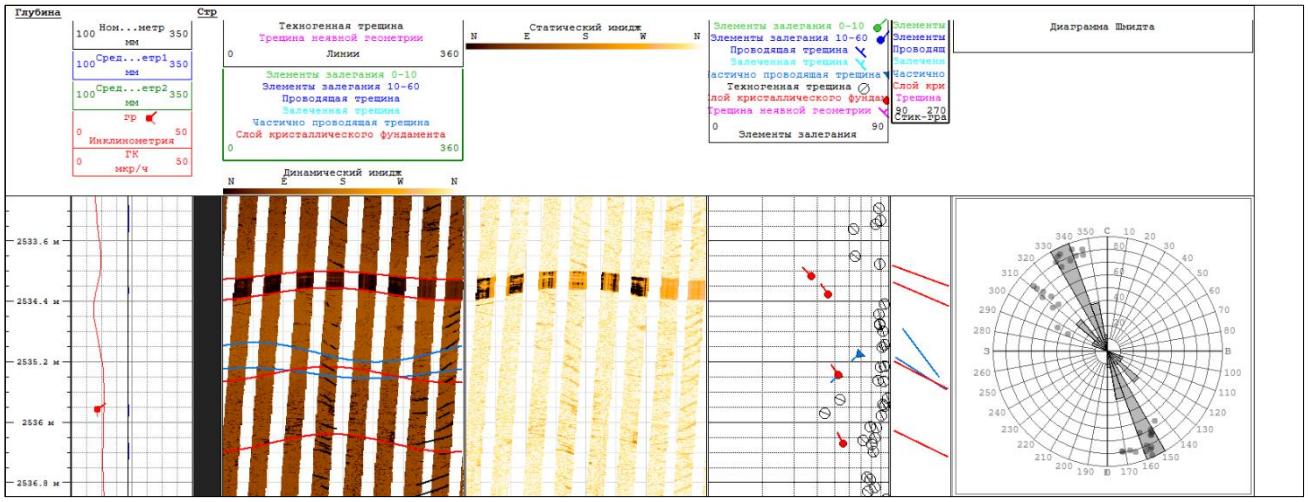


Рисунок 37: Пример выделения трещин неявной геометрии.

11.4. Таблица углов наклона и азимутов падения выделенных элементов

Глубина, м	Угол падения, гр	Азимут падения, гр	Простирание, гр	Тип границы
2340.207	7.816	245.077	335.077	Элементы залегания 0-10
2396.058	13.765	249.969	339.969	Элементы залегания 10-60
2411.038	76.663	165.24	75.24	Техногенная трещина
2436.894	89.18	48.011	318.011	Частично проводящая трещина
2497.861	11.953	245.604	335.604	Слой кристаллического фундамента
2504.879	40.027	54.809	324.809	Трещина неявной геометрии
2512.237	61.894	143.4	53.4	Проводящая трещина
2474.238	77.419	303.035	33.035	Залеченная трещина

11.5. Расчет параметров трещин по данным ЭМС

Для расчета раскрытости и плотности трещин была использована методика Luthi (2000), основанная на контрасте сопротивлений заполненной промывочной жидкостью трещины с породой, с применением граничного значения. Данная методика используется для расчета параметров естественных трещин каждого вида. Предварительно данные имиджа калибруются на данные МБК для уточнения вычислений. Важно заметить, что к значениям кажущейся раскрытости следует относиться с осторожностью и использовать их, в основном, на качественном уровне. На результаты расчётов в значительной степени влияет качество имиджа, а также значение проводимости пород. Трещины распределены неравномерно и зачастую пересекают напластования. Кажущаяся раскрытость может принимать широкий спектр значений, в том числе из-за влияния глинистых прослоев с пониженными сопротивлениями.

Таблица 4: Параметры трещин

Глубина, м	Тип границы	Азимут падения, гр	Угол падения, гр	Длина трещины, мм	Раскрытость трещины, мм
2360.776	Залеченная трещина	119.475	40.009	814.372	
2429.914	Частично проводящая трещина	269.394	65.104	1046.355	0.073
2506.739	Проводящая трещина	209.866	26.889	696.070	0.219

12. Описание прибора КарСар 8АД73

Прибор кросс-дипольного акустического каротажа КарСар 8АД73 представляет собой акустический зонд, включающий в себя три источника акустических волн (один монопольный и два направленных дипольных, расположенных в ортогональных плоскостях) и 32 направленных приёмника, которые расположены соосно с дипольными источниками (Рисунок 38). Помимо прибора акустического каротажа в компоновке присутствовал модуль инклинометрии с каналом естественной радиоактивности.

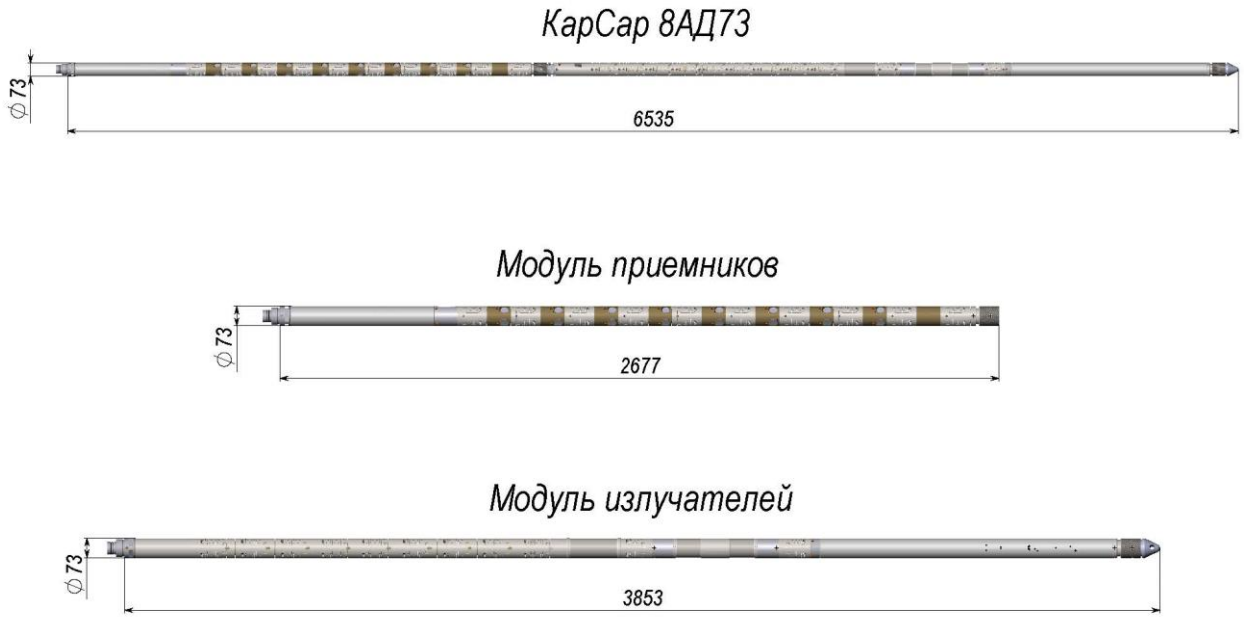


Рисунок 38: Схема прибора

Модуль излучателей содержит один монопольный излучатель, кросс-дипольный излучатель: X и Y пьезокерамические излучатели сориентированные перпендикулярно относительно друг друга, акустический изолятор.

Модуль приемников содержит 8 приемников акустических колебаний по 4-ре канала в каждом.

Вертикальное разрешение зонда составляет 0.2м. Сверху и снизу прибора устанавливаются рессорные центраторы. Центраторы имеют возможность регулировки максимального диаметра раскрытия – что позволяет работать ими без замены в скважинах от 120 до 400 мм.

Интервал, мм	П1	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8
Монополь	2233	2433	2633	2833	3033	3233	3433	3633
Диполь X	2586	2786	2986	3186	3386	3586	3786	3986
Диполь Y	2786	2986	3186	3386	3586	3786	3986	4186

Прибор предназначен для одновременной регистрации продольных и поперечных волн в открытом или закрытом стволе скважин. Прибор измеряет время пробега продольной (DTP) и поперечной (DTS) волн с записью 96 волновых картин в память прибора, с привязкой волновых картин к апсидальной плоскости скважины. Обработка зарегистрированных волновых картин в программе «Оптимус» позволяет получить геофизические данные о скорости распространения акустической волны в горных породах, петрофизические данные о пористости, литологии разреза, геомеханические данные о наличии анизотропии и ее ориентации, данные о механических напряжениях в породе.

13. Контроль качества данных акустических методов

На рисунке 39 представлены волновые поля монопольной секции.

Качество данных монопольной и кросс-дипольных секций признано достаточным для использования при интерпретации. Исключением является интервал наиболее интенсивного размыва ствола скважины 2374-2407м, где проследить поперечную волну не представляется возможным (Рисунок 40).

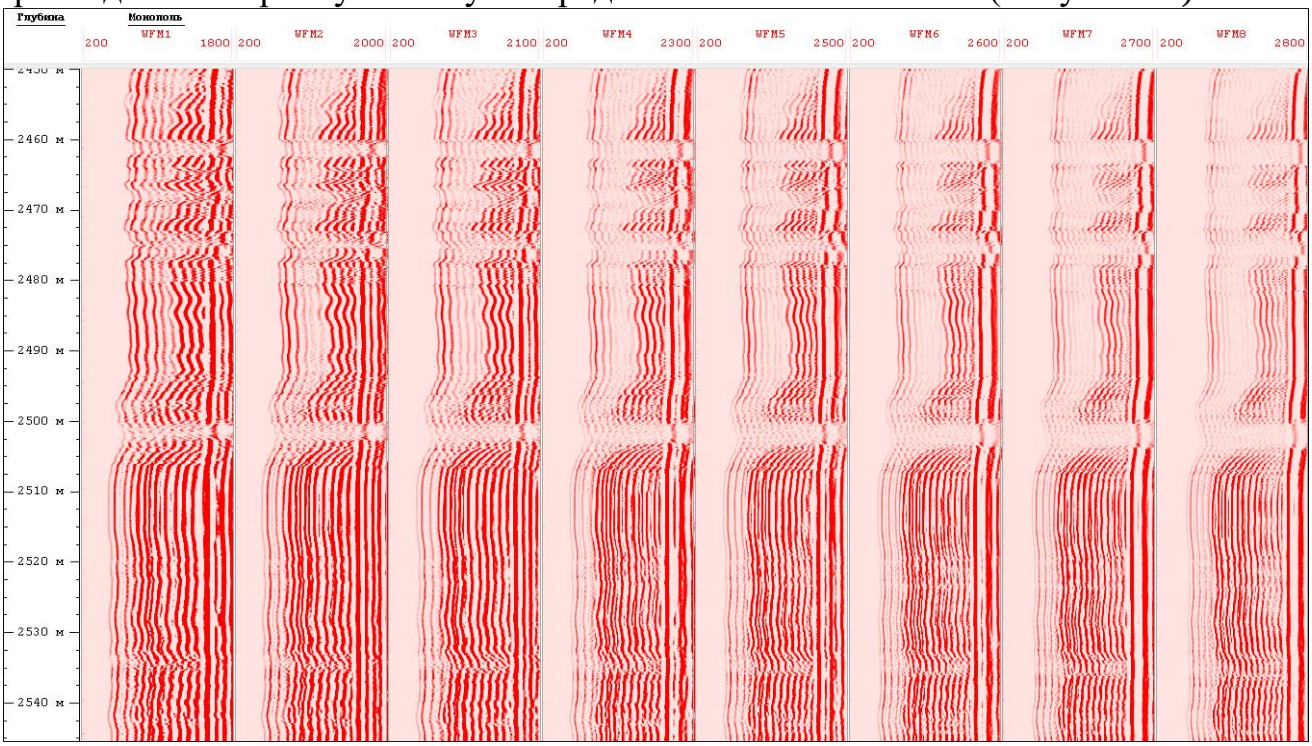


Рисунок 39: Контроль качества волновых полей

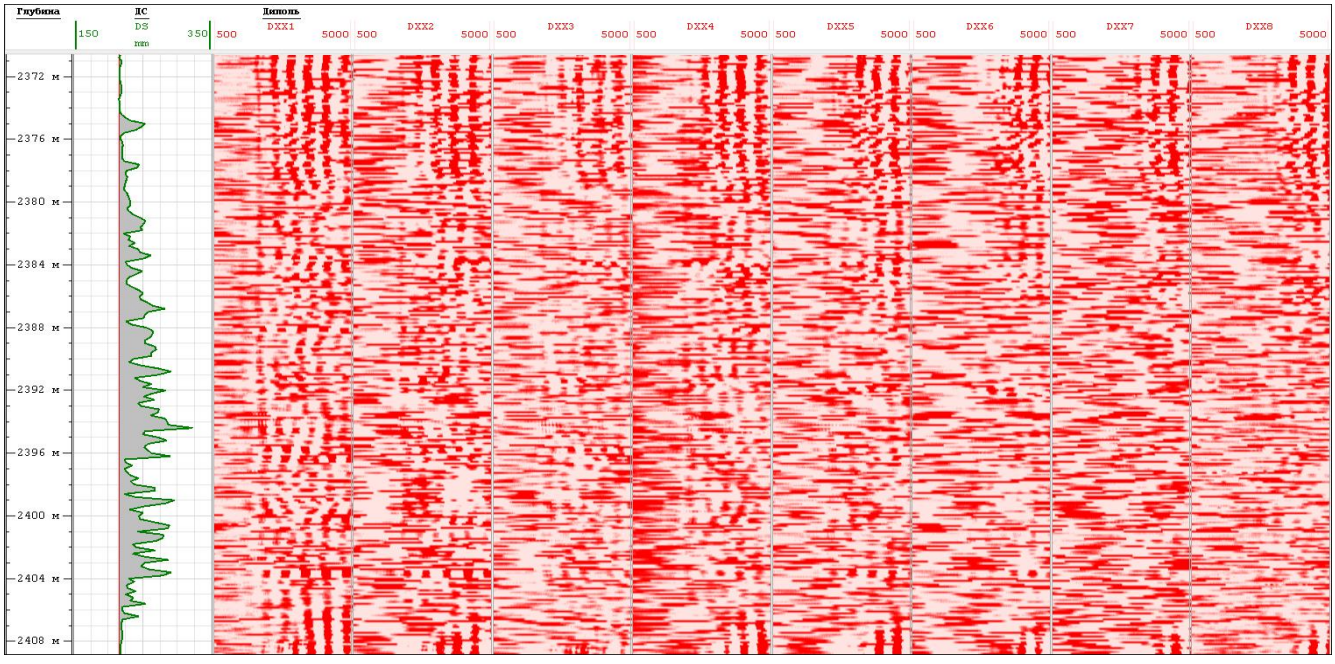


Рисунок 40: Контроль качества дипольной секции в интервале 2374-2407м

14. Методика интерпретации данных КДАК

Методика STC позволяет вычислить интервальные времена путем вычисления скалярной характеристики, называемой семблансом, для различных значений времен прихода и медленностей [1].

Для определения анизотропии скоростей поперечных волн используется модификация метода Алфорда. Этот метод использует запись двух ортогональных компонент волнового поля, полученных от двух ортогонально направленных источников поперечных волн. Суть методики состоит в поиске таких двух ортогональных направлений воздействия источника поперечных волн (X, Y), для которых вся энергия сосредотачивается на приемных компонентах коллинеарных направлению воздействия XX и YY, при равенстве нулю энергии на ортогональных (побочных) компонентах XY и YX [2]:

$$\begin{pmatrix} XX & XY \\ YX & YY \end{pmatrix} \overset{\Theta}{\rightarrow} \begin{pmatrix} FP & 0 \\ 0 & SP \end{pmatrix}$$

При известном угле (Θ) значения быстрой (FS) и медленной (SS) поперечных волн рассчитываются по формулам:

$$FP = XX\cos^2\Theta + (XY + YX)\sin\Theta\cos\Theta + YY\sin^2\Theta$$

$$SP = XX\sin^2\Theta - (XY + YX)\sin\Theta\cos\Theta + YY\cos^2\Theta$$

Возникновение анизотропии скоростей поперечных волн в горных породах обусловлено тремя основными механизмами:

- наличие в породе горизонтальных напряжений;
- присутствие ориентированной субвертикальной трещиноватости;
- наклонное залегание пластов относительно оси скважины

Коэффициент анизотропии поперечных волн рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{Anisotropy} = \frac{\text{SSLOW} - \text{SFAST}}{0.5 * (\text{SSLOW} + \text{SFAST})} * 100\%$$

где: SSLOW – интервальное время медленной поперечной волны;

SFAST – интервальное время быстрой поперечной волны.

Направление анизотропии достоверно определяется в интервалах, где коэффициент анизотропии превышает 3%. В условно изотропных интервалах изменение направления анизотропии может определяться вращением прибора.

Частотная фильтрация волновых полей дипольных секций производилась с применением фильтра согласно карте дисперсии (Рисунок 41).

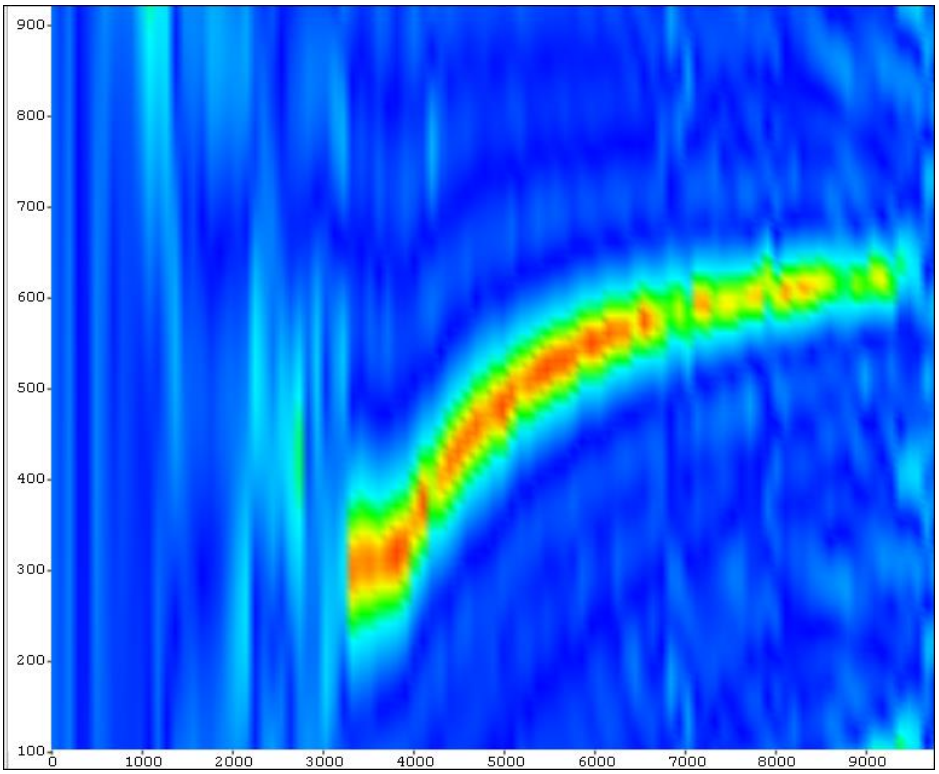


Рисунок 41: Карта дисперсии дипольных волн

Результаты интерпретации данных КДАК

Данные КарСар 8АД73 увязаны по глубине к окончательному каротажу в открытом стволе.

В результате интерпретации определены интервальные времена продольной волны, быстрой и медленной поперечных волн, а также волны Стоунли. Были рассчитаны коэффициент анизотропии и азимут распространения быстрой поперечной волны. Азимут распространения быстрой поперечной волны определен в интервале открытого ствола и ориентирован на географический север. Следует учитывать, что при угле скважины менее 3 градусов, существует погрешность в определении азимута.

В исследуемых интервалах определены основные динамические механические свойства, такие как модуль объемного сжатия, модуль сдвига, модуль Юнга, коэффициент Пуассона.

Выявлены следующие интервалы с анизотропией акустических свойств (коэффициент анизотропии превышает 3%). Результаты вычислений в таблице 5.

Таблица 5

Кровля, м	Подошва, м	Мощность, м	Среднее/Максимальное значение анизотропии, %	Направление распространения быстрой поперечной волны, гр
Фроловская свита (1815.7 - 2404.9м)				
2369.1	2369.7	0.6	3.4 / 3.9	117
2375.1	2377.3	2.2	6.5 / 8.3	108
ЮК0 Баженовская свита (2404.9 - 2435.3м)				
2408.5	2412.7	4.2	6.9 / 11.5	337
2412.8	2413.1	0.3	2.6 / 3.0	323
2413.9	2414.9	1.0	4.3 / 5.1	327
2415.3	2416.4	1.1	4.0 / 5.4	104
2420.5	2420.7	0.2	2.1 / 2.4	357
2429.0	2429.6	0.6	3.5 / 4.0	337
2431.7	2432.7	1.0	3.9 / 4.7	321
ЮК1 (2435.3 - 2458.3м)				
2435.2	2436.3	1.1	3.6 / 4.4	310
2438.3	2439.3	1.0	6.6 / 10.0	283
2439.9	2444.1	4.2	11.5 / 22.4	286
2444.3	2445.6	1.3	11.8 / 21.4	298
2457.7	2458.3	0.6	3.2 / 3.9	110
ЮК2 (2458.3 - 2496.5м)				
2459.6	2460.3	0.7	4.9 / 6.6	111

Кровля, м	Подошва, м	Мощность, м	Среднее/Максимальное значение анизотропии, %	Направление распространения быстрой поперечной волны, гр
2460.6	2460.9	0.3	3.8 / 4.3	123
2461.9	2462.8	0.9	4.8 / 6.5	162
2465.9	2466.6	0.7	5.0 / 5.7	155
2468.6	2469.6	1.0	6.7 / 8.3	135
2469.8	2470.3	0.5	3.4 / 4.5	119
2470.4	2471.3	0.9	3.9 / 4.9	120
2472.7	2472.9	0.2	3.0 / 3.0	128
2473.0	2473.5	0.5	3.7 / 4.3	126
2474.0	2474.2	0.2	2.6 / 2.9	115
2475.0	2475.5	0.5	7.7 / 9.3	121
2476.2	2476.8	0.6	5.1 / 6.3	350
2477.3	2477.6	0.3	3.5 / 3.5	346
2479.4	2480.2	0.8	4.8 / 5.8	324
2480.5	2480.8	0.3	2.7 / 3.5	320
2493.6	2493.9	0.3	3.0 / 3.0	352
2494.0	2494.3	0.3	3.0 / 3.1	344
PZ (2496.5 - 2578.5м)				
2497.4	2498.2	0.8	4.7 / 6.2	340
2498.6	2499.3	0.7	6.8 / 8.7	341
2500.0	2501.8	1.8	11.2 / 15.8	337
2501.9	2503.8	1.9	5.2 / 7.2	331
2511.1	2515.8	4.7	5.8 / 7.3	234
2518.9	2520.3	1.4	4.1 / 4.9	165
2522.9	2525.3	2.4	4.1 / 6.1	153
2525.4	2527.1	1.7	6.6 / 8.8	159
2530.9	2533.3	2.4	4.9 / 7.2	167
2537.6	2538.8	1.2	4.3 / 5.6	144
2541.2	2544.0	2.8	7.8 / 9.9	67
2544.0	2544.7	0.7	5.6 / 6.4	337
2546.4	2547.1	0.7	3.7 / 4.5	344
2551.3	2552.0	0.7	3.8 / 4.1	336
2554.3	2558.1	3.8	6.7 / 8.8	341
2558.4	2560.2	1.8	5.5 / 7.2	339
2561.1	2561.4	0.3	3.0 / 3.0	333
2561.5	2570.9	9.4	6.8 / 9.8	333
2571.8	2574.6	2.8	6.9 / 9.2	334

На рисунке 42 показан азимут распространения быстрой поперечной волны во всем интервале интерпретации (2340.0-2574.6м). Основное направление Северо-Запад (330-340°) – Юго-Восток (150-160°).

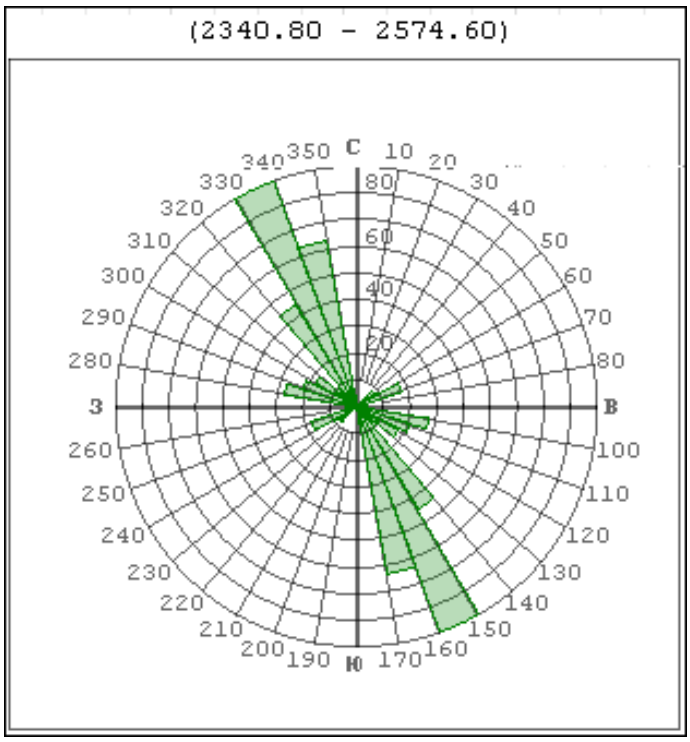


Рисунок 42: Азимут распространения поперечной волны в интервале 2340-2574.6м

16. Комплексный анализ данных

В интервале Фроловской свиты (2340.0 - 2404.9м) коллекторов по данным ЯМК не выявлено. Напластования характеризуются Юго-Западным (ЮЗ) направлением падения. Минимальный угол падения составляет 1.5°, максимальный – 15.5°, средний – 7.0°. Элементов, отвечающих за вторичную пористость по данным ЭМС не выявлено. Выделенные интервалы анизотропии акустических свойств связаны с кавернозностью ствола скважины, определить по дисперсионному анализу генезис анизотропии не представляется возможным (Рисунок 43).

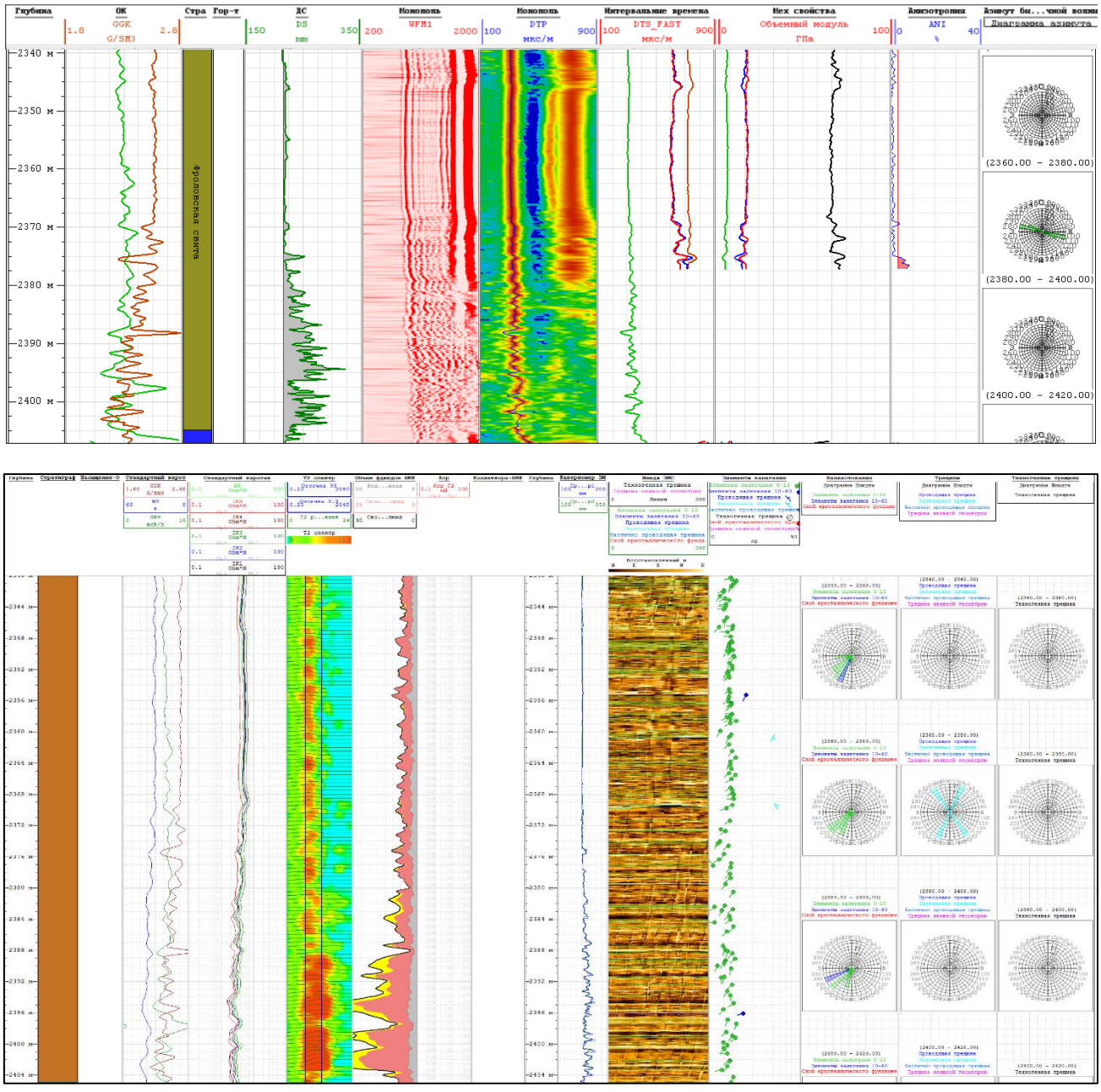


Рисунок 43: Интервал Фроловской свиты (2340.0 - 2404.9м)

В интервале Баженовской свиты (2404.9м - 2435.3м) коллекторов по данным ЯМК не выявлено. Характерно преобладание Юго-Западного (ЮЗ) направления падения пластов. Минимальный угол падения составляет 1.5°, максимальный – 18.7°, средний – 5.8°. Выявлены частично проводящие трещины (раскрытые по максимальному горизонтальному напряжению – Северо-Запад – Юго Восток), что согласуется с направлением распространения быстрой поперечной волны (Рисунок 44). В основном отмечается естественная анизотропия акустических свойств, которая, по характеру распределения дисперсионных кривых, вероятнее всего обусловлена – либо тонким переслаиванием различных по своим акустико-плотностным свойствам пород, залегающих не ортогонально относительно ствола скважины, либо наличием субвертикальной трещиноватости пород (Рисунок 45).

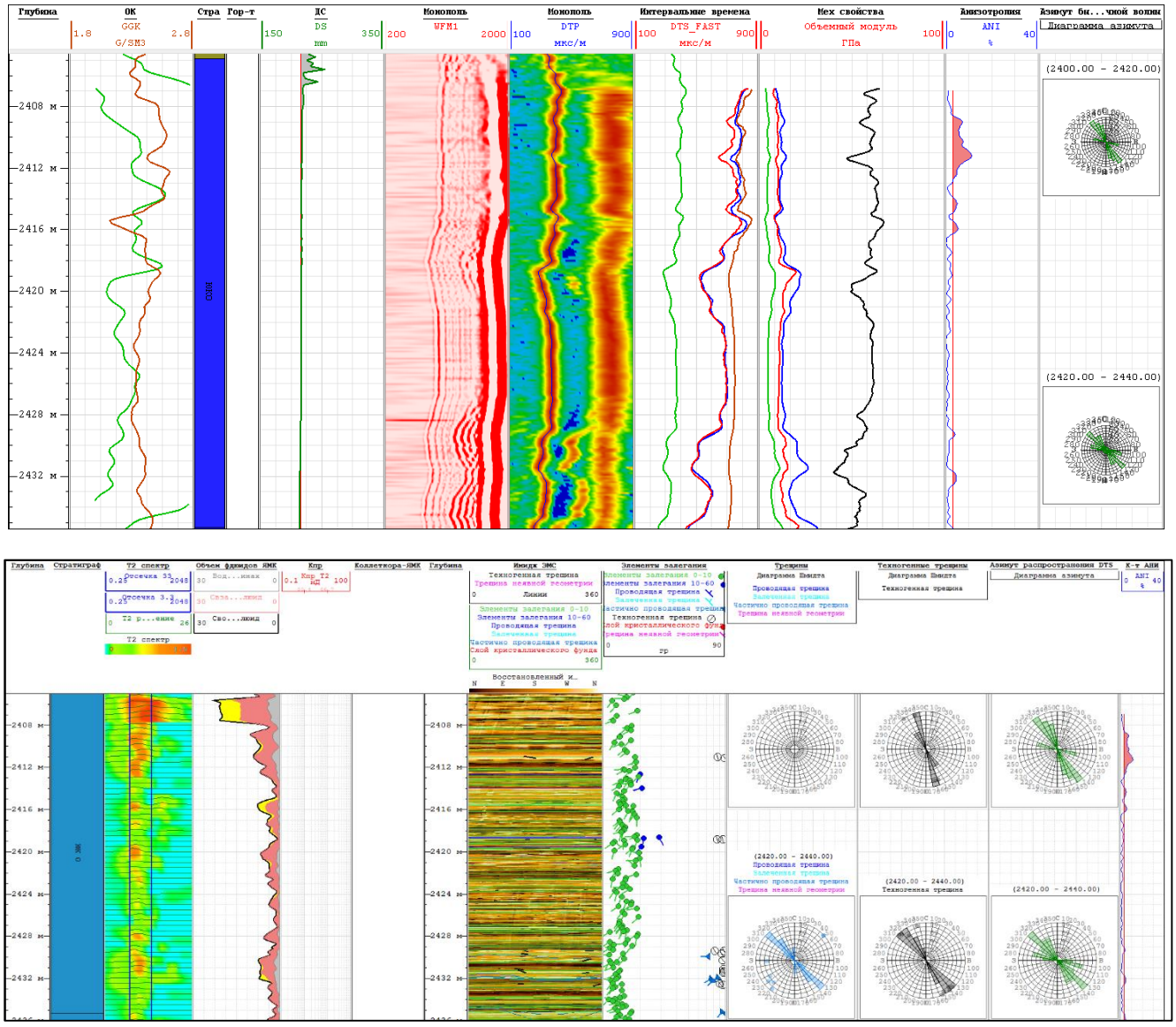


Рисунок 44: Интервал Баженовской свиты (2404.9м - 2435.3м)

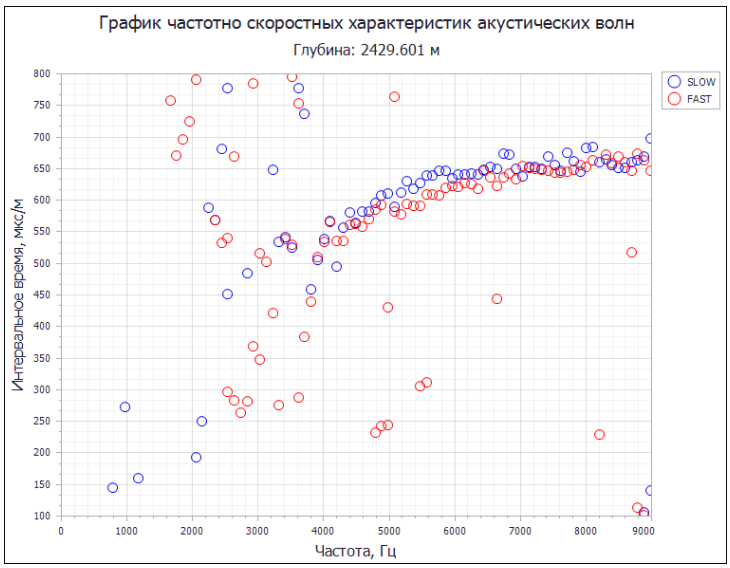
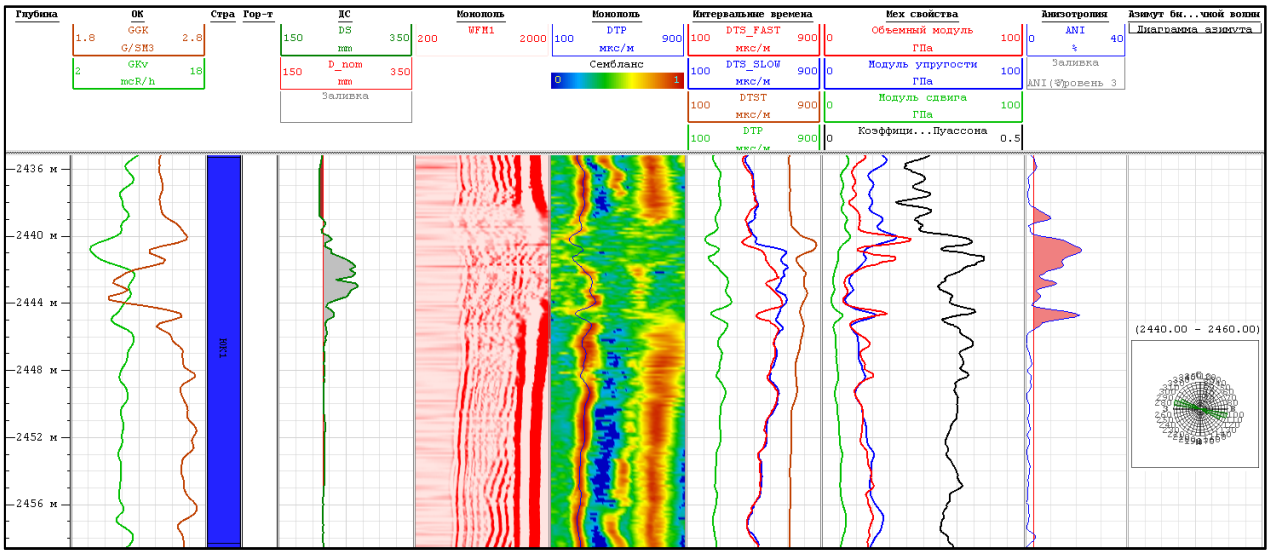


Рисунок 45: Пример частотно-скоростных характеристик быстрой и медленной поперечных волн в интервале 2404.9 - 2435.3м

В интервале ЮК1 (2435.3 - 2458.3м) по данным ЯМК выявлен коллектор 2436.6-2437.8м, в котором по данным ЭМС выявлена частично проводящая трещина (азимут простирания которой Северо-Запад – Юго-Восток). Падение напластований ЮК1 меняется от Юго-Западного (ЮЗ) до Западного (З) направления. Минимальный угол падения составляет 3.1°, максимальный – 43.6°, средний – 9.9°. По данным акустических методов, в основном, выделенные интервалы анизотропии связаны с кавернозностью ствола скважины, определить по дисперсионному анализу генезис анизотропии не представляется возможным (Рисунок 46).



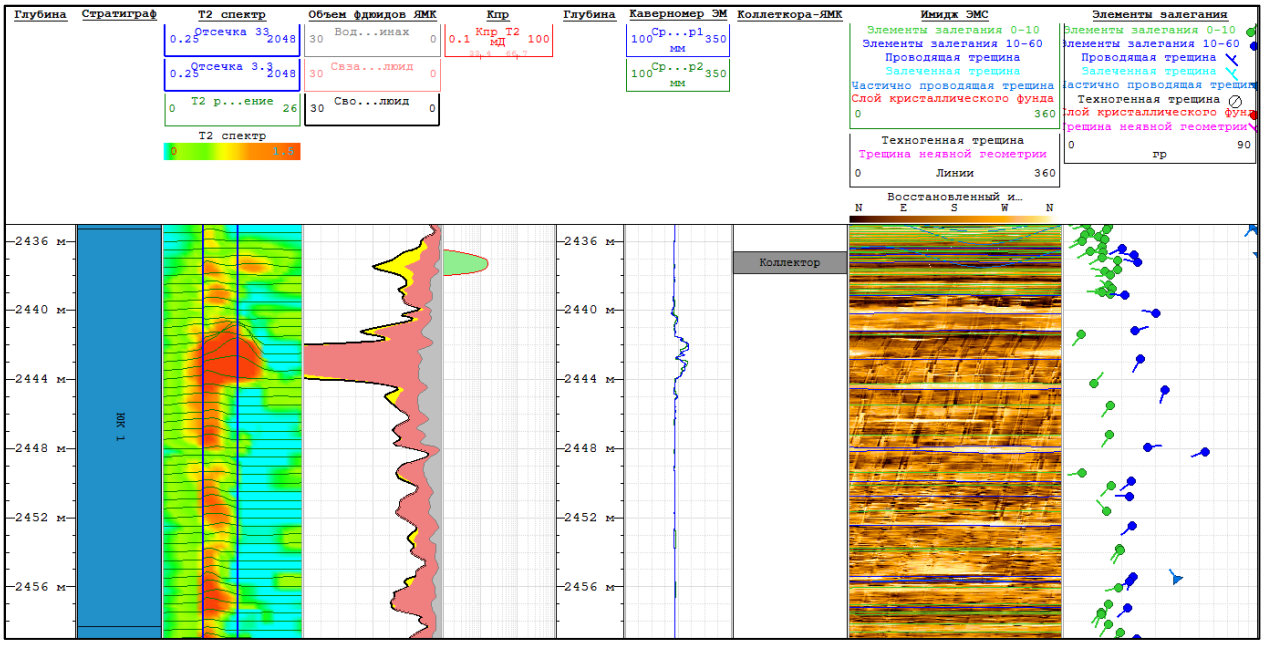


Рисунок 46: Интервал ЮК1 (2435.3 - 2458.3м)

В породах ЮК2 (2458.3 - 2496.5м) по данным ЯМК выявлены коллектора (2467.7-2469.7м, 2474.1-2476.3м) и возможные коллектора (2459.7-2462.3м, 2471.3-2472.0м). Падение напластований ЮК2 меняется от Юго-Западного (ЮЗ) до Западного (З) направления. Минимальный угол падения составляет 1.3°, максимальный – 43.8°, средний – 12.3° (Рисунок 47). По данным акустических методов, в основном отмечается естественная анизотропия акустических свойств, которая, по характеру распределения дисперсионных кривых, вероятнее всего обусловлена – тонким переслаиванием различных по своим акустико-плотностным свойствам пород, залегающих не ортогонально относительно ствола скважины (Рисунок 48).

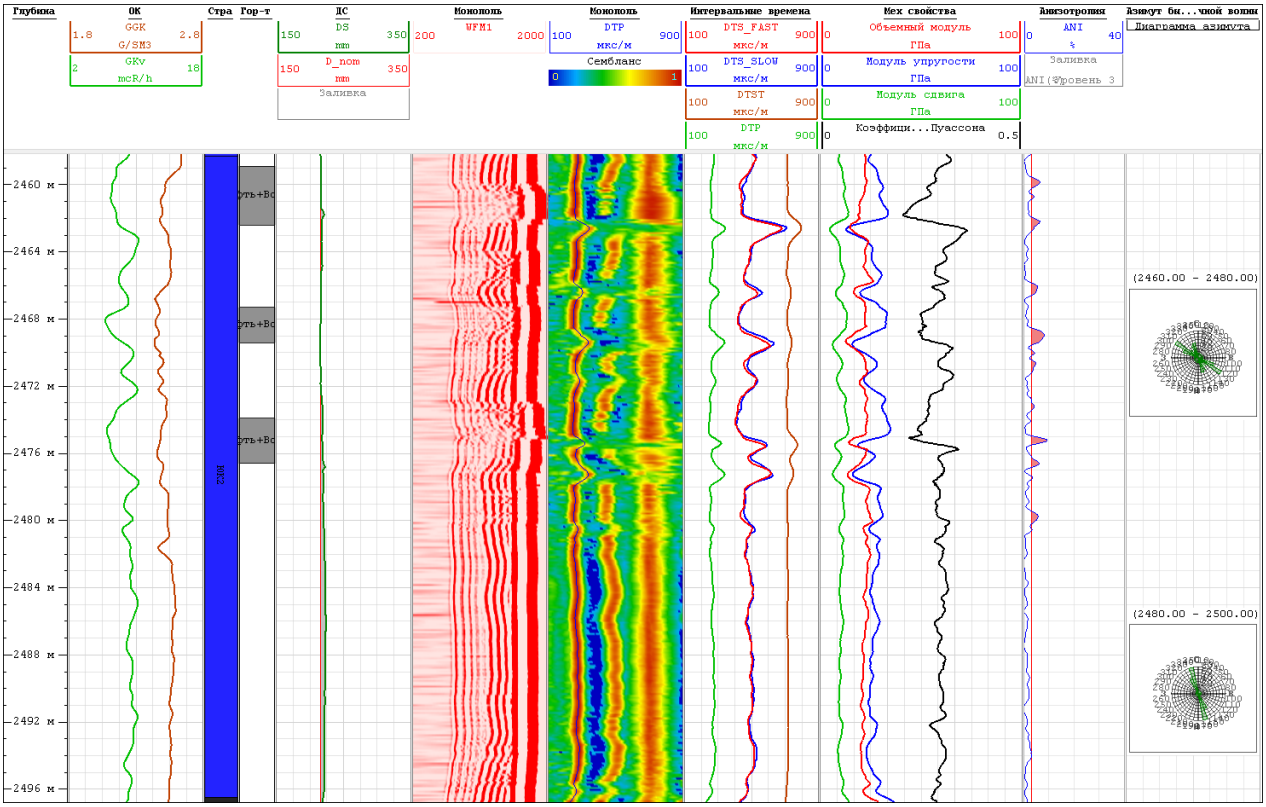


Рисунок 47: Интервал ЮК2 (2458.3 - 2496.5м)

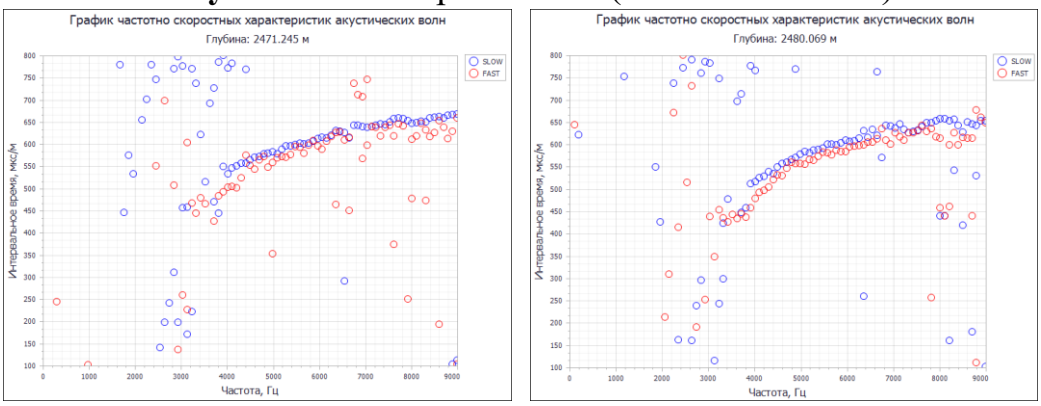


Рисунок 48: Пример частотно-скоростных характеристик быстрой и медленной поперечных волн в интервале 2458.3 - 2496.5м

В породах PZ (2496.5 - 2574.6м) коллекторов по данным ЯМК не выявлено. Падение слоев кристаллического фундамента характеризуется Северо-Западным направлением (СЗ). Минимальный угол падения составляет 11.9°, максимальный – 67.0°, средний – 43.0°. По данным ЭМС выявлена значительная трещиноватость пород. Анизотропия акустических свойств развита наиболее интенсивно (Рисунок 49). Проявления анизотропии не являются «чистыми», связанными с какой-либо одной причиной, а смешанными, вследствие комбинации факторов.

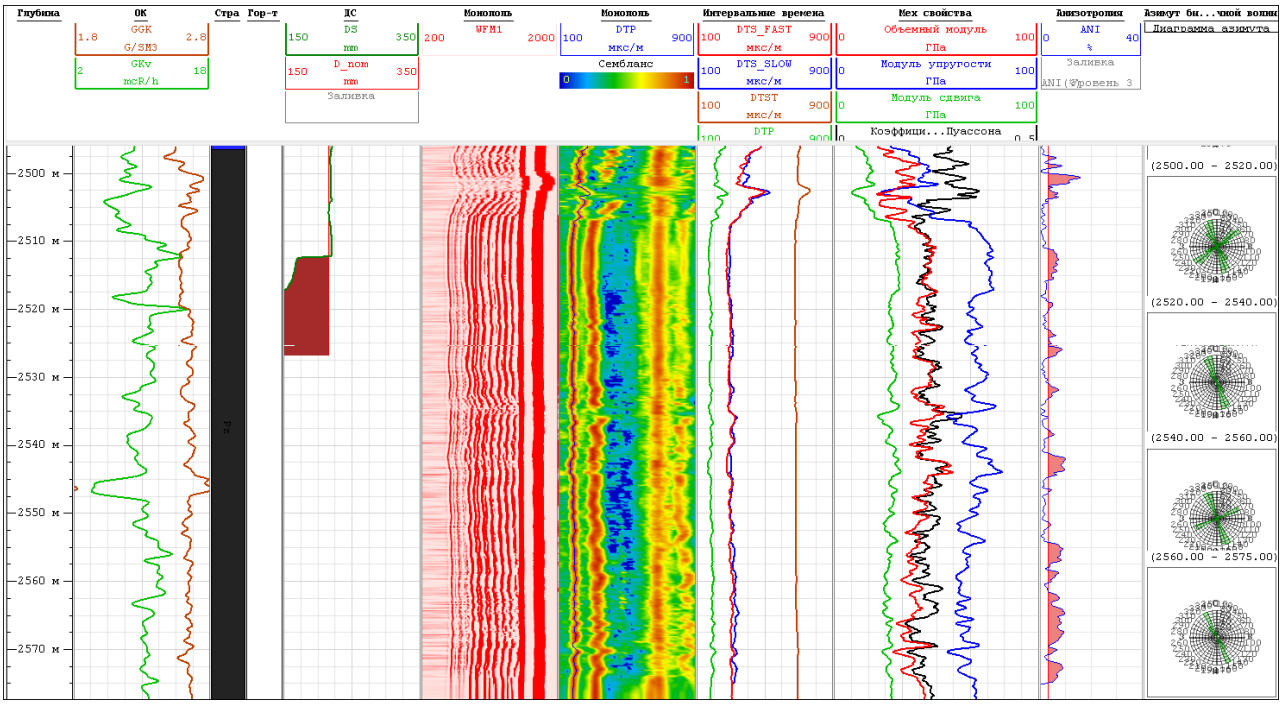


Рисунок 49: Интервал PZ (2496.5 - 2574.6м)

Анизотропия акустических свойств в интервале 2511.1 - 2515.8м, вероятнее всего обусловлена – наличием субвертикальной трещиноватости пород и тонким переслаиванием различных по своим акустико-плотностным свойствам пород, залегающих не ортогонально относительно ствола скважины (Рисунок 50), что подтверждается данными ЭМС (Рисунок 51).

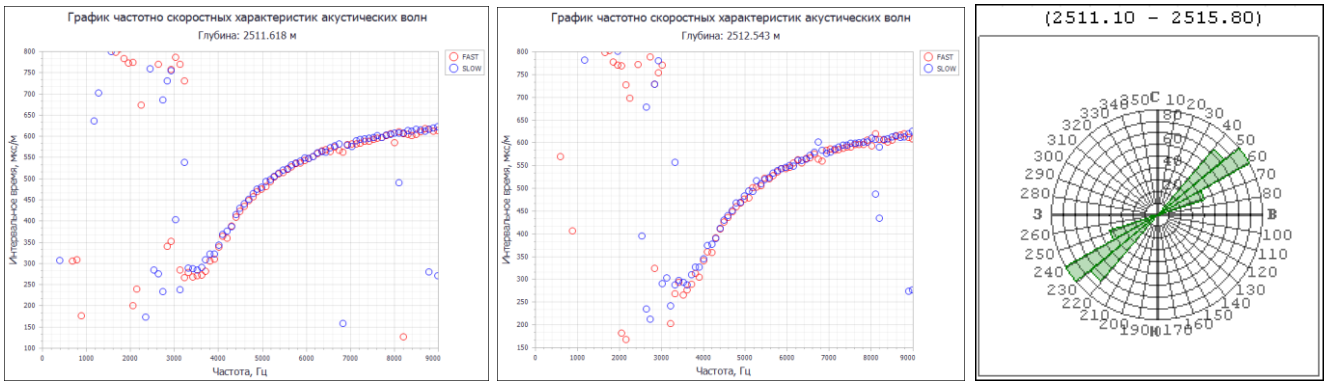


Рисунок 50: Пример частотно-скоростных характеристик быстрой и медленной поперечных волн в интервале 2511.1 - 2515.8м

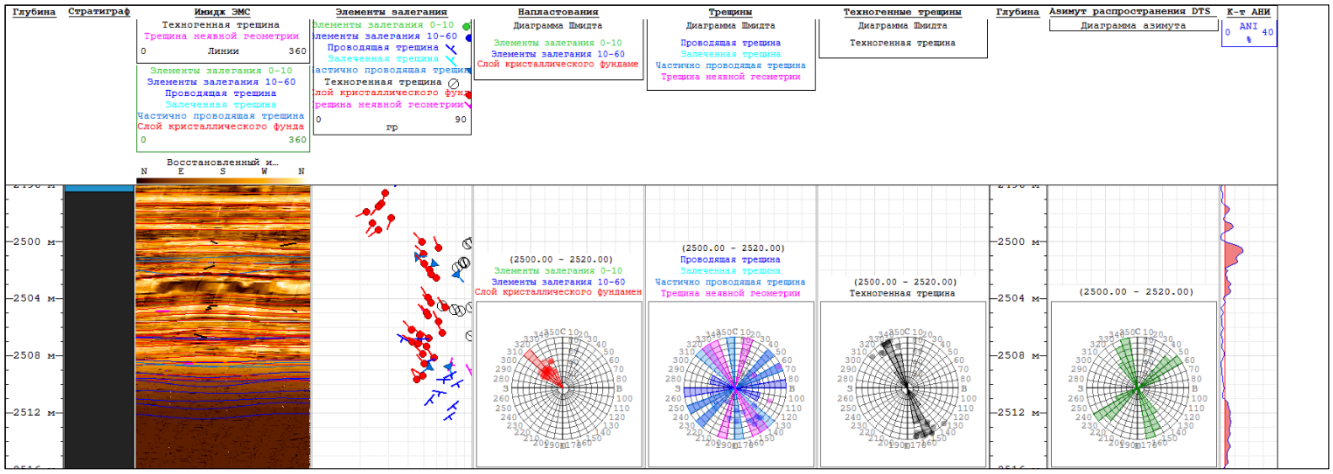


Рисунок 51: Интервал PZ (2496.5 - 2515.8м)

Кроме того, анизотропия акустических свойств в основном обусловлена горизонтальным стрессом (Рисунок 52,53). Направление стресса Северо-Запад (320-340°)-Юго-Восток (140-160°), что подтверждается данными ЭМС (Рисунок 54).

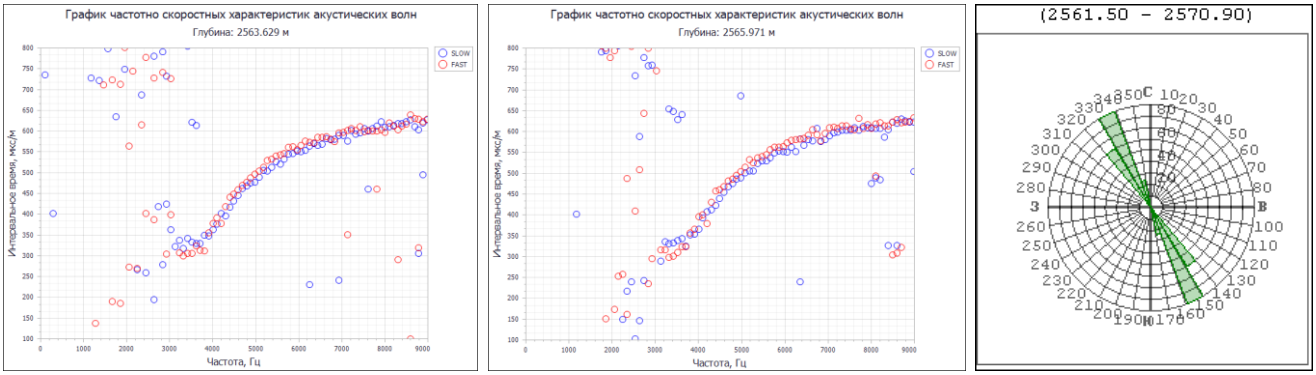


Рисунок 52: Пример частотно-скоростных характеристик быстрой и медленной поперечных волн в интервале 2561.5-2570.9м (горизонтальный стресс).

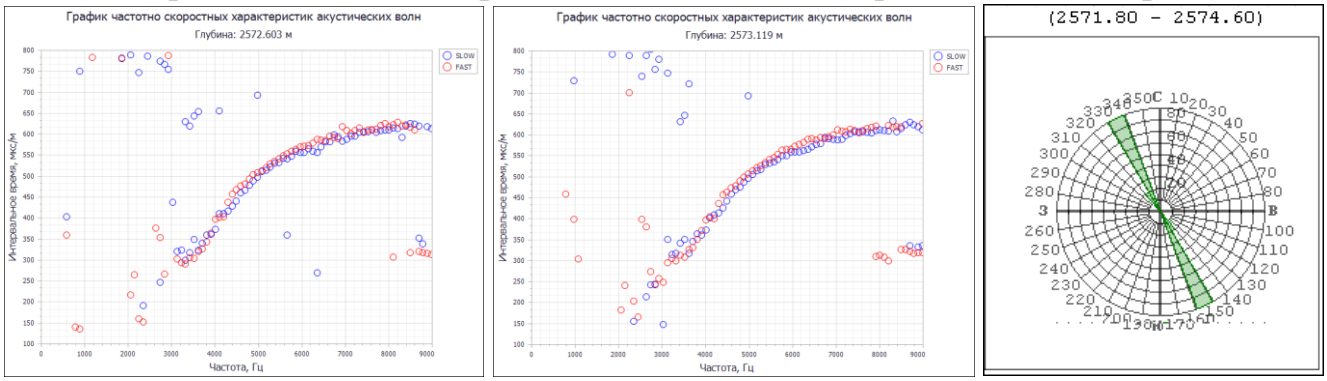


Рисунок 53: Пример частотно-скоростных характеристик быстрой и медленной поперечных волн в интервале 2571.8-2574.6м (горизонтальный стресс).

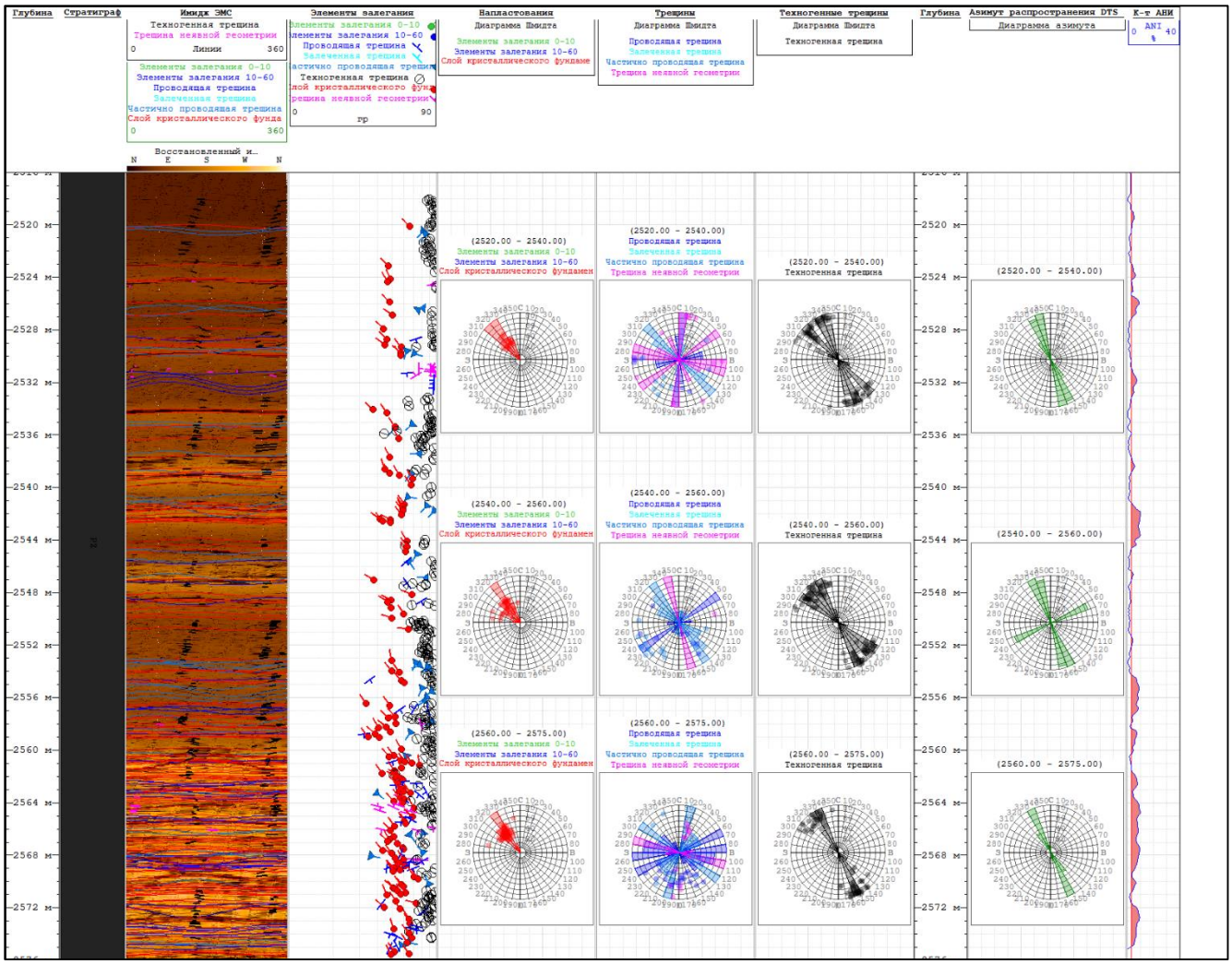


Рисунок 54: Интервал PZ (2515.8 - 2576.0м)

Таблица 6: Сводная таблица результатов интерпретации

Кровля, м	Подошва, м	Мощность, м	Пористость по ЯМК, %			Кпр_по ЯМК, мД	Кво, %	Характеристика коллектора	DTP, мкс/м	Мех. свойства		Примечание
			Кп общ	Кп откр	Кп эфф					К-т. Юнга	К-т. Пуассона	
Фроловская свита 2340.0-2404.9м												
Коллекторов не выявлено												
ЮК 0 (2404.9-2435.3м)												
Коллекторов не выявлено												
ЮК 1 (2435.5-2458.3м)												
2436.6	2437.8	1.3	11.8	10.9	5.9	1.2	49.8	Коллектор	294	24	0.24	По данным ЭМС выделяется одна частично проводящая трещина, азимут простирания 138гр.
ЮК 2 (2458.3-2496.5м)												
2459.7	2462.3	2.7	12.7	11.0	2.4	0.2	81.2	Возможно коллектор	263	30	0.25	
2467.7	2469.7	2.0	12.0	11.1	5.8	1.1	52.9	Коллектор	283	26	0.26	
2471.3	2472.0	0.6	7.3	6.4	4.9	0.8	28.1	Возможно коллектор	282	22	0.32	
2474.1	2476.3	2.2	11.8	10.6	3.8	0.4	67.3	Коллектор	269	28	0.27	
PZ (2496.5-2578.0м)												
Коллекторов не выявлено												

Выводы

Исследования в скважине XX XXXXXXX месторождения были проведены в интервале 2340-2578м (ЯМК), 2340-2576м (ЭМС), 2340-2574.6м (кросс-дипольный акустический каротаж: КДАК), 1060.0-2574.6м (АКШ).

Качество каротажных данных признано хорошим во всем интервале исследований, кроме интервалов развития каверн. Стоит отметить, что при проведении работ происходили затяжки всех приборов.

По результатам интерпретации данных ЯМК получены следующие основные данные: проницаемость, общая и эффективная пористости, спектр распределения частичных пористостей, соответствующих различным значениям Т2, частичные пористости воды в глинах, остаточной воды и подвижного флюида, Кво. В интервале песчано-глинистых пород-коллекторов сигнал Т2 лежит в диапазоне 33-750 мсек, что говорит о мелкопоровом пространстве свободного флюида.

По результатам интерпретации данных ЭМС был проведен структурный анализ данных в интервале пластов:

- Фроловская свита 2340-2409.9м: напластования характеризуются Юго-Западным (ЮЗ) направлением падения, средний угол падения пластов составляет 7.0°;
- Баженовская свита 2409.9-2435.3м: напластования характеризуются Юго-Западным (ЮЗ) направлением падения, средний угол падения пластов составляет 5.8°;
- ЮК1 2435.3-2458.3м: падение меняется от Юго-Западного (ЮЗ) до Западного (З) направления, средний угол падения пластов составляет 9.9°;
- ЮК2 2458.3-2496.5м: падение меняется от Юго-Западного (ЮЗ) до Западного (З) направления., средний угол падения пластов составляет 12.3°;
- PZ 2496.5-2576.0м: падение слоев кристаллического фундамента характеризуется Северо-Западным направлением (СЗ), средний угол падения пластов составляет 43.0°.

Проводящие трещины в обнаружены только в интервале кристаллического фундамента имеют в основном Северо-Восточное – Юго-Западное (СВ-ЮЗ) направление простирания

Частично проводящие трещины в интервале исследования имеют в основном Северо-Западное – Юго-Восточное (СЗ-ЮВ) направление простирания.

ОГРН 1186451003023
ИНН/КПП 6453155042/645301001
ОКПО 24992058
410041, г. Саратов, а/я 713
(8452) 44 44 68
www.log-service.su
office@log-service.su

Залеченные трещины имеют различное направление простирания.

В результате интерпретации КДАК определены интервальные времена продольной волны, быстрой и медленной поперечных волн, а также волны Стоунли. Были рассчитаны коэффициент анизотропии и азимут распространения быстрой поперечной волны. В исследуемых интервалах определены основные динамические механические свойства, такие как модуль объемного сжатия, модуль сдвига, модуль Юнга, коэффициент Пуассона.