



SPE Moscow Section

**Результаты применения глубинных азимутальных
электромагнитных измерений в комплексе каротажа во
время бурения скважин с горизонтальным окончанием в
сложных геологических условиях**

(Results of using deep azimuthal Multiple Propagation
Resistivity measurements in a complex of logging while drilling
horizon wellbores inside difficult geology)

Содержание

Contents

1. Что такое навигация и какие задачи она решает
 2. Краткая физико-техническая характеристика прибора ЭМК
 3. Примеры использования картографа в сложных геологических условиях на месторождениях Западной Сибири и Волго-Уральского региона
 - Скважина 1
 - Скважина 2
 4. Значение сервиса геонавигации для Заказчика
 - Скважина 3
 5. Выводы&Рекомендации
-
1. What is geosteering and what objectives can it resolve
 2. Brief physical and technical specifications of a Weatherford deep azimuthal resistivity tool
 3. Examples of utilizing the azimuthal resistivity tool under complicated geological conditions in West Siberia and Volga-Ural region
 - Well 1
 - Well 2
 4. Value of geosteering service for Customer
 - Well 3
 5. Conclusions & Recommendations

Что такое геонавигация

What is geosteering

Геонавигация - это применение передовых технологий наклонно-направленного бурения горизонтальных скважин или боковых стволов, в комплексе с каротажем в режиме реального бурения. Анализ данных каротажа в режиме реального времени, позволяет провести скважину в области с максимальным добычным потенциалом

Geosteering is utilizing of advanced technologies of directional drilling along with LWD tools while drilling horizontal wells and sidetracking. Analysis of logs from LWD tool in real-time enables to place a hole in a reservoir part with maximum production

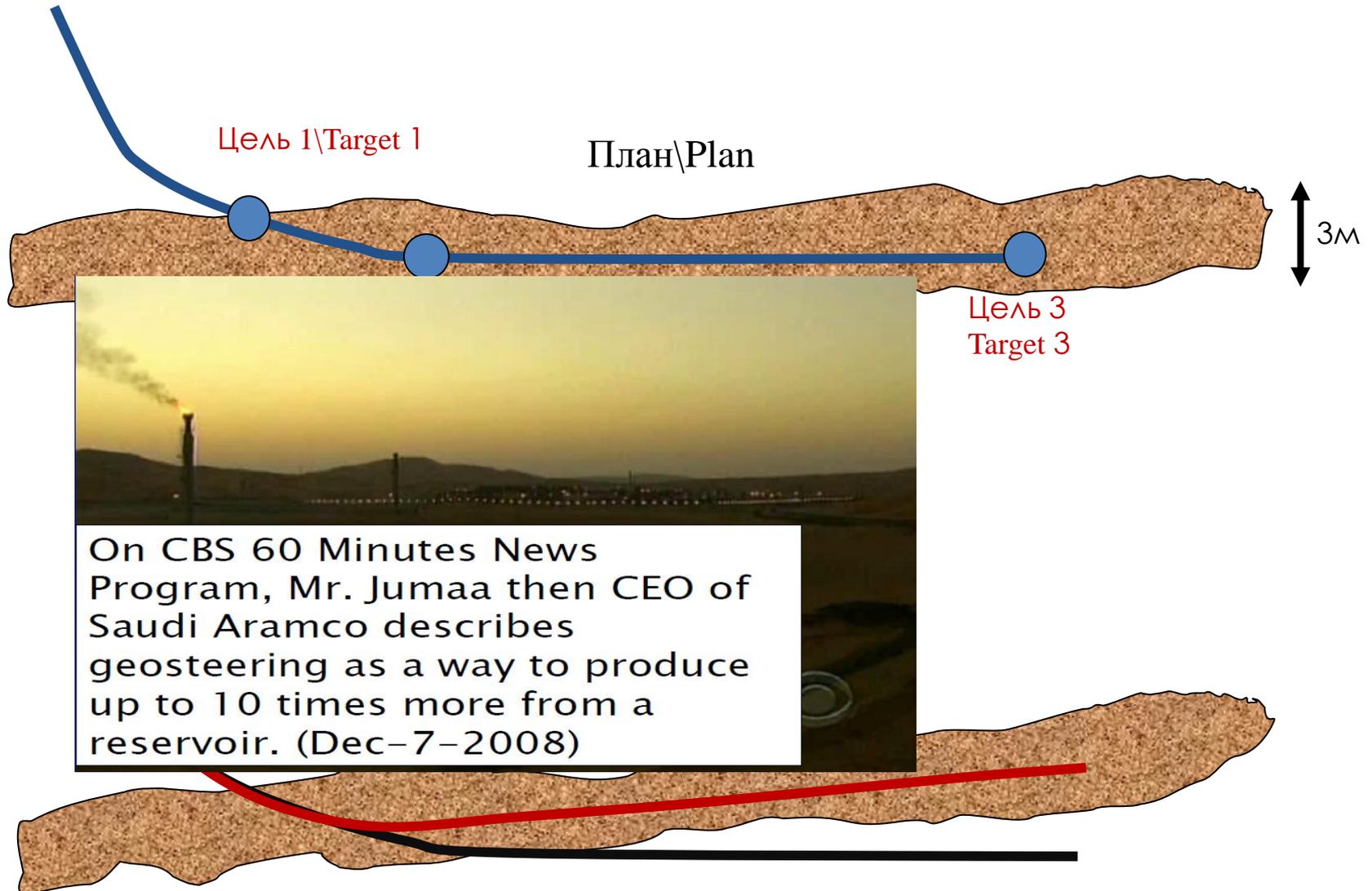
Для чего нужна геонавигация и какие задачи она решает

- Расположение горизонтального ствола в соответствии с геологическими задачами
- Увеличение продуктивности и продление жизни скважины (заложение ствола в интервалах с оптимальными коллекторскими свойствами, с учетом местоположения ВНК и ГНК)
- Решение целого ряда геологических неопределенностей в процессе бурения:
 - Неопределенность с углом восстания/падения пласта
 - С вертикальной глубиной целевого пласта
 - Возможные изменения мощности целевого пласта
 - Положение ВНК и ГНК

Why do we need geosteering and what objectives can it resolve

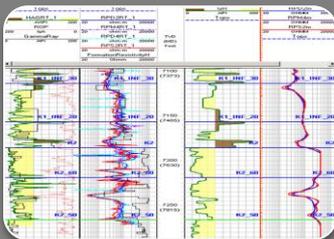
- Placing a horizontal hole in accordance with geological objectives
- Increase of production and well life extension (placing a wellbore in the reservoir sweet-spot away from the Oil-Water and Gas-Oil contacts)
- Overcome a number of geological uncertainties during drilling:
 - Uncertainty with dip of formation
 - TVD depth of target formation
 - Changing of thickness of target formation
 - Location of OWC and GOC

Назначение геонавигации Purpose of geosteering



Существующие уровни геонавигации

Levels of geosteering

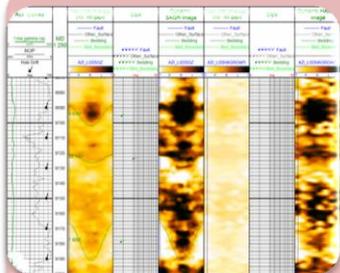


1. Моделирование, корреляция и обновление

Классические методы картожа во время бурения

1. Modeling, correlation and updating

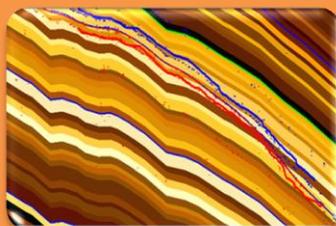
Conventional logs from LWD



2. Азимутальный уровень:

определение элементов залегания на основе имиджей

Azimuthal level : Determination dip of formation based on images



3. Проактивный уровень: определение расстояния до границы

Картограф границ, глубинный азимутальный электромагнитный картотаж

Proactive level: determination of distance to boundary

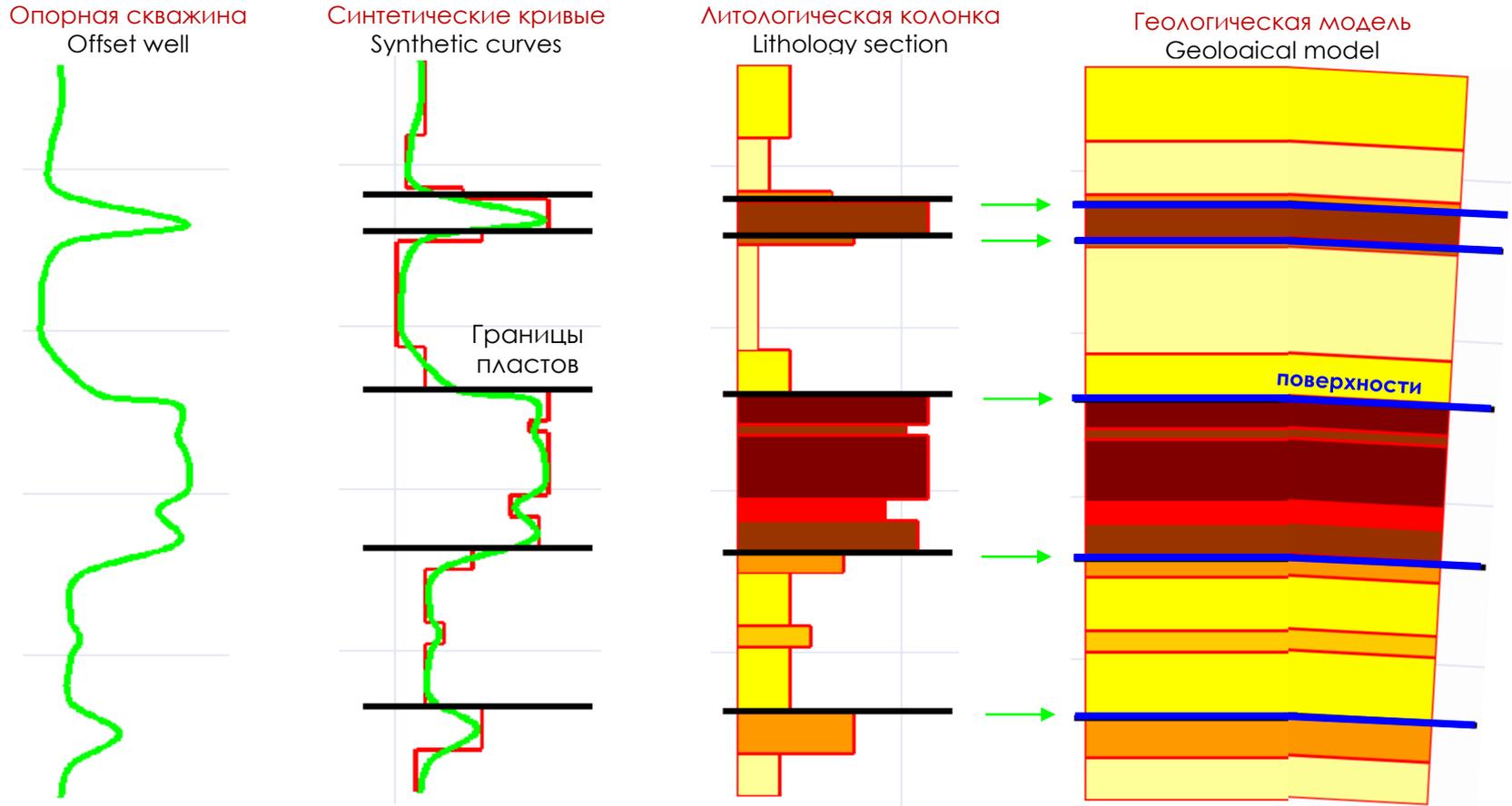
Deep Azimuthal Multiple Propagation Resistivity tool

Уровень 1: Моделирование, корреляция и обновление

Level 1: Modeling, correlation and updating

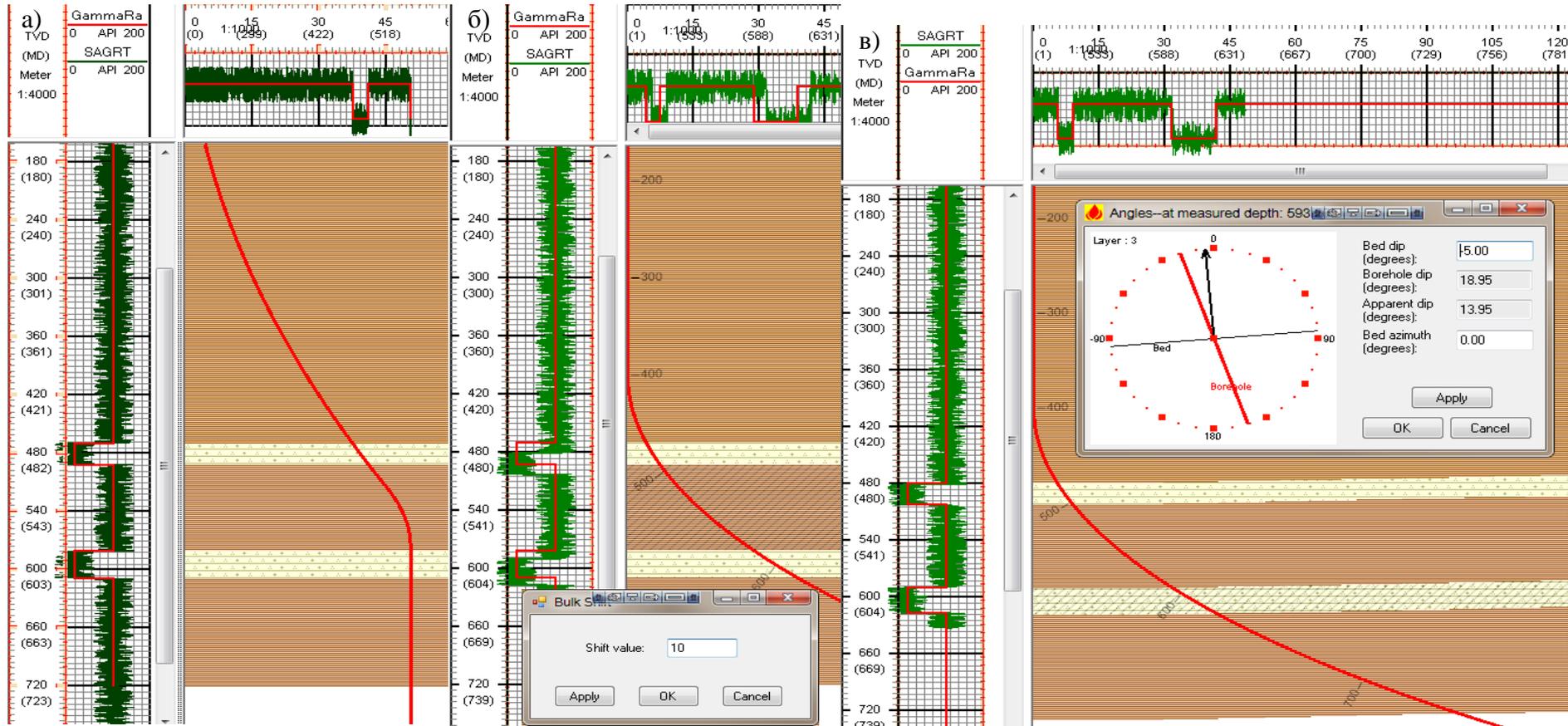
Корреляция с синтетическими кривыми по опорной скважине

Correlation with synthetic curves from the offset well



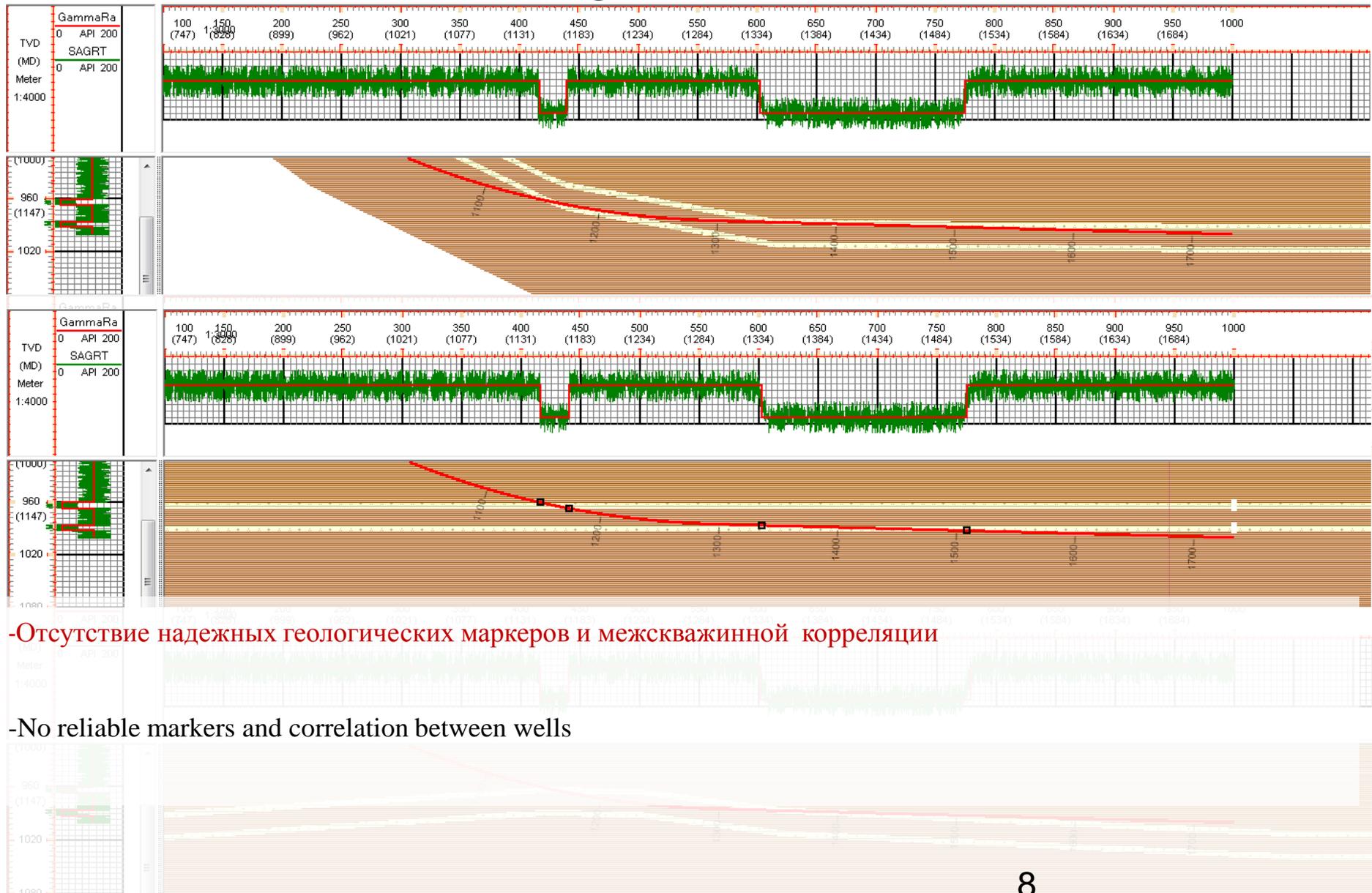
Корреляция фактического каротажа с синтетическими кривыми и обновление модели

Correlation of actual and synthetic logs and updating a model



Ограничения геонавигации по 1 уровню

Geosteering restrictions for the 1 level



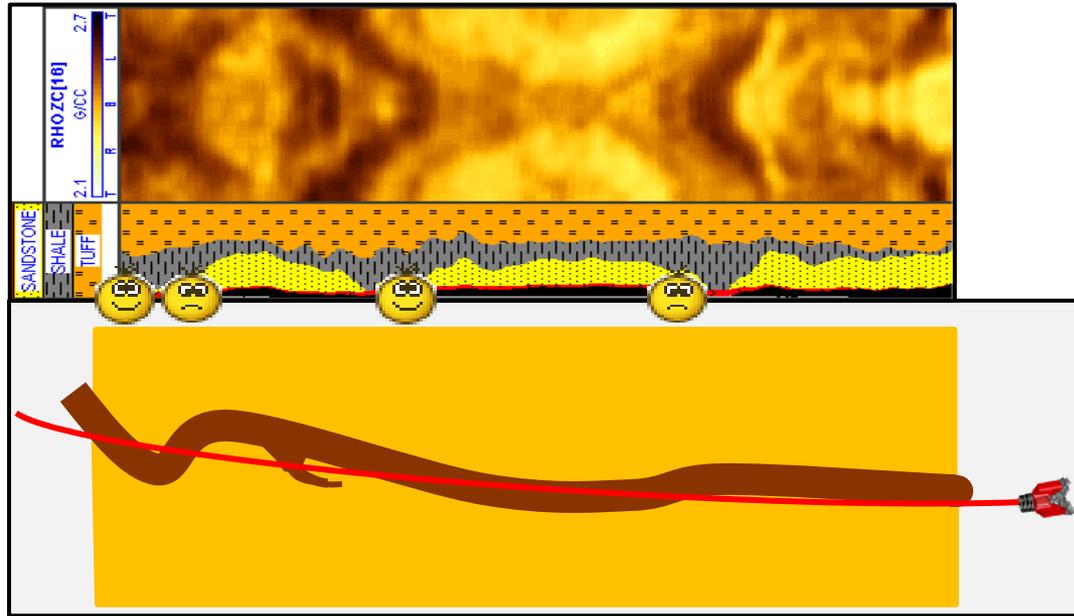
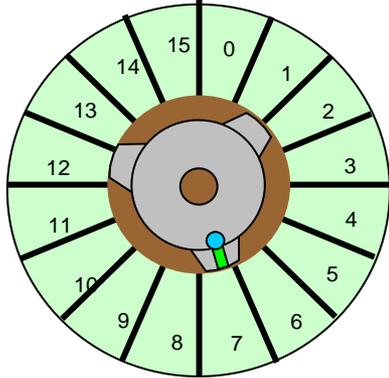
-Отсутствие надежных геологических маркеров и межскважинной корреляции

-No reliable markers and correlation between wells

Уровень 2: интерпретация имиджей

Level 2: interpretation of images

Верх инструмента



Угол восстания\
падения пласта

=

Зенитный угол

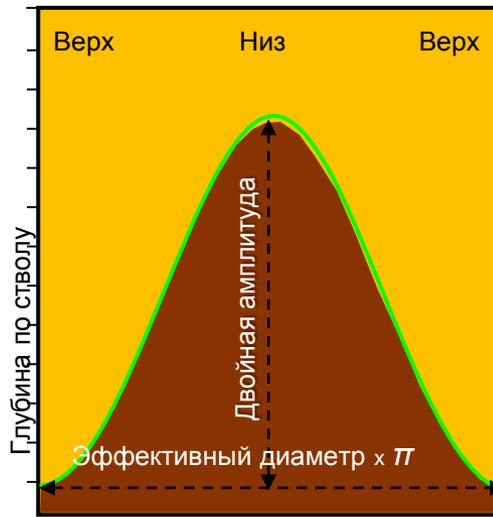
-

ARCTAN

(Эффективный Ø

/

Двойная Амплитуда)



Dip of formation

=

Inclination

-

ARCTAN

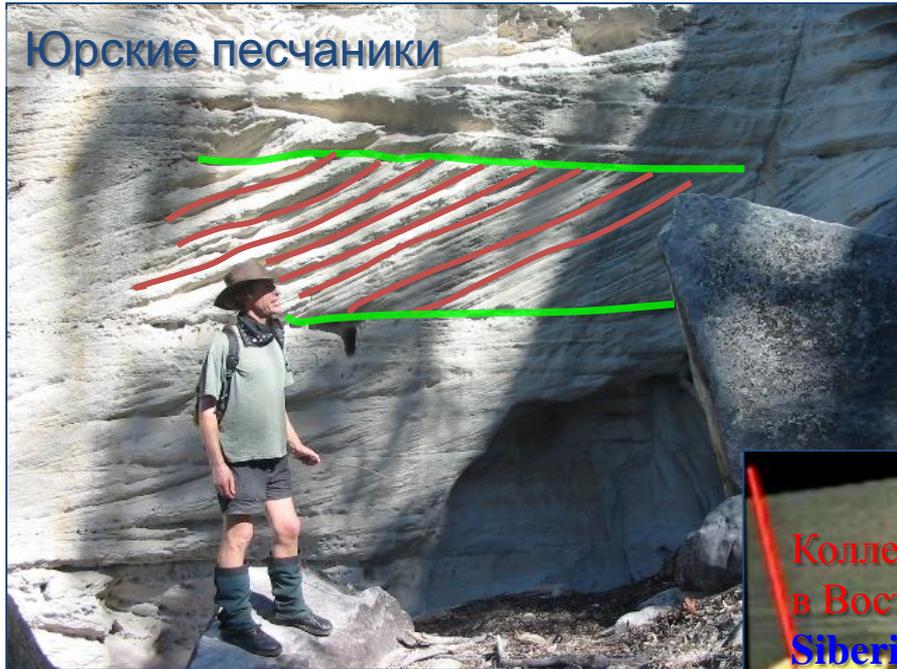
(well diameter

/

Amplitude of image)

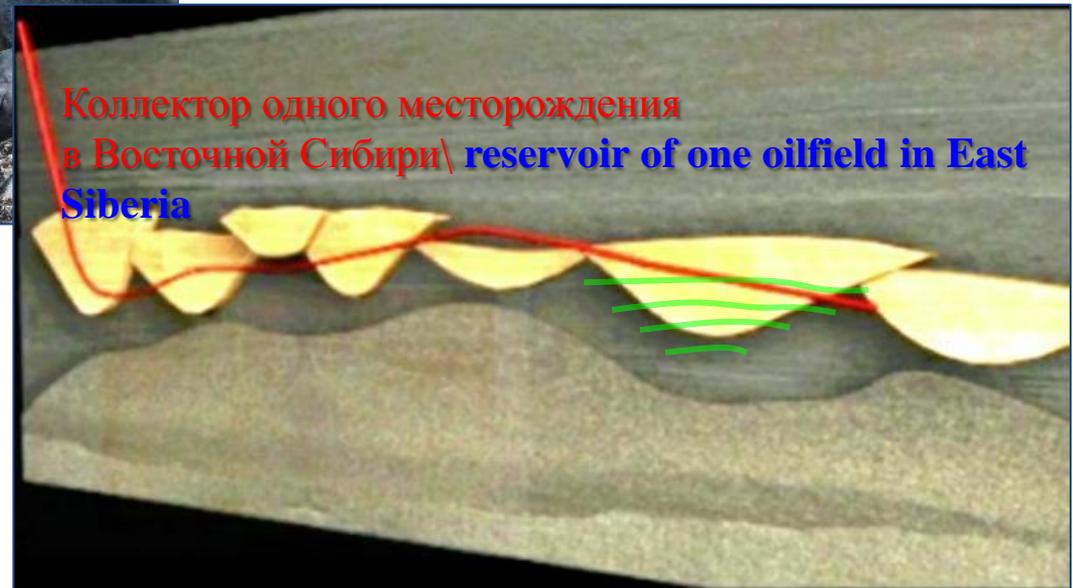
Ограничения уровня 2

Restrictions of level 2



- Сложность отделения структурных границ от косо́й слоистости внутри пласта или границ нерегулярных включений (карбонатных линз и т.п.).
- Care must be taken to distinguish between the dip of bed sets and dip of cross-bedding within a set.

- Не применим в литологически однородных разрезах, где по имиджам (ГК или плотностным) не представляется возможным выделить какие-либо границы
- It doesn't work in homogenous reservoirs, where there is no possibility to see any boundaries by images (density or GR)



Уровень 3: Определение расстояния до границ пласта глубинным азимутальным электромагнитным каротажем

Level 3: Determination of distance to the boundary by Azimuthal Resistivity tool

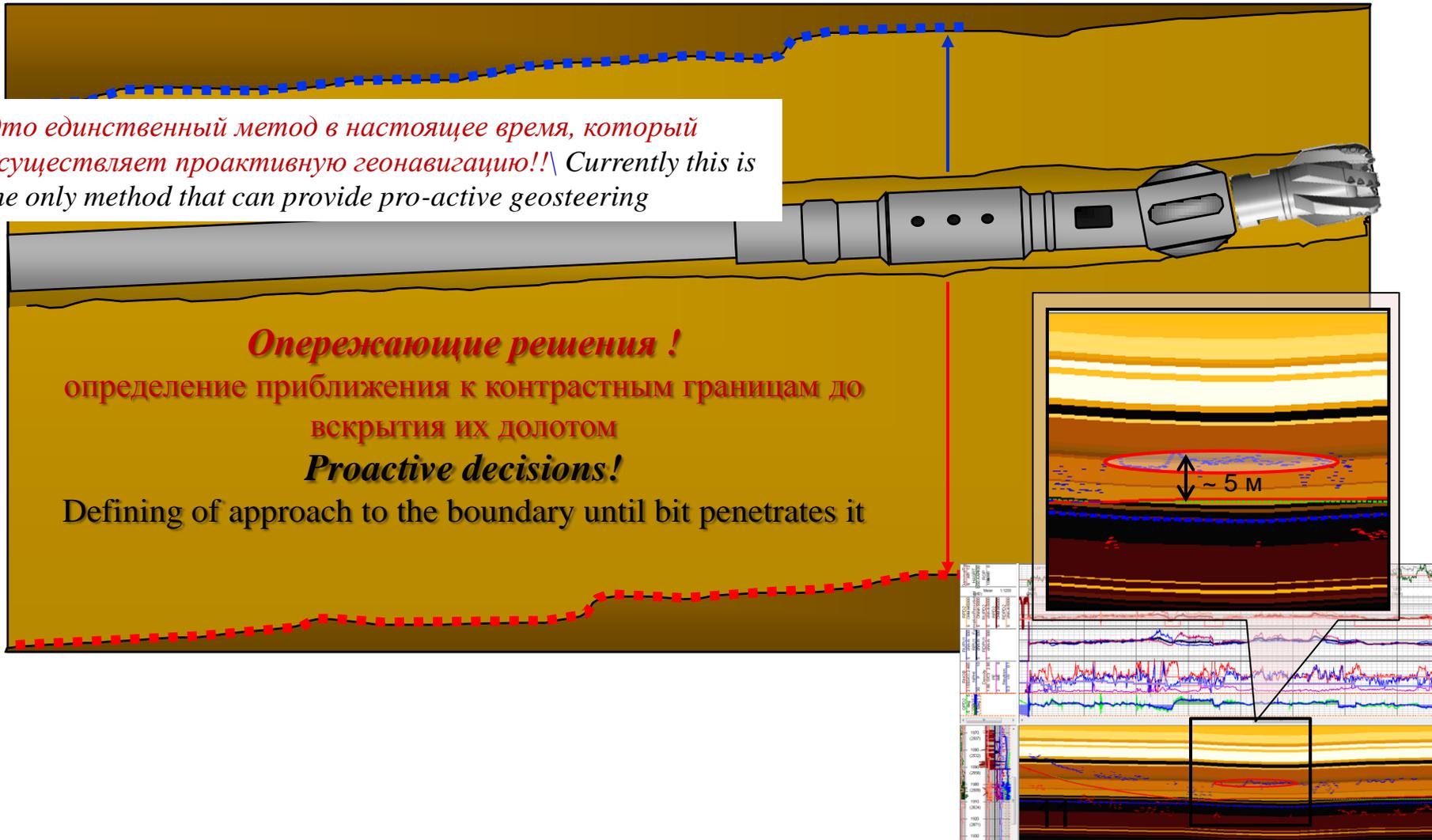
*Это единственный метод в настоящее время, который
осуществляет проактивную геонавигацию!!\ Currently this is
the only method that can provide pro-active geosteering*

Оперезжающие решения !

определение приближения к контрастным границам до
вскрытия их долотом

Proactive decisions!

Defining of approach to the boundary until bit penetrates it



Картограф границ. Глубинный азимутальный электромагнитный каротаж

Deep Azimuthal Multiple Resistivity measurement

Определение расстояния до границы

Defining of distance to the boundary

Ключи к проактивной геонавигации

Keys of proactive geosteering:

- Максимальная дальность обнаружения границы

Maximum distance of boundaries detection

- Определение направления на границу

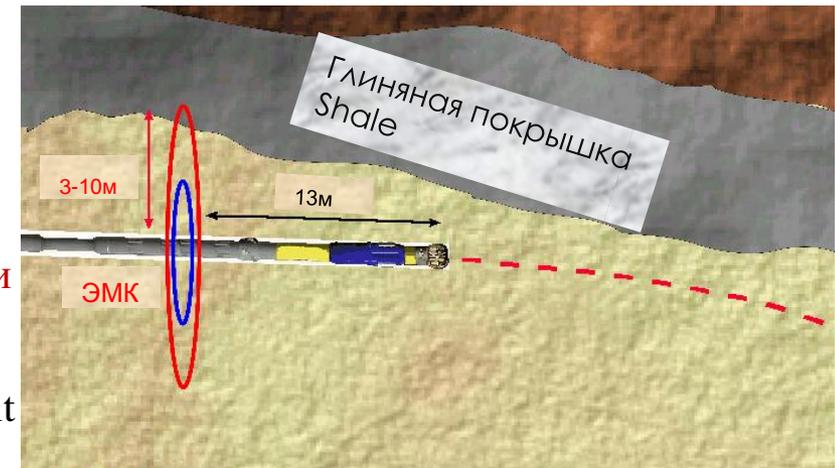
Defining of direction to the boundary

- Точность вычисления расстояния до границы

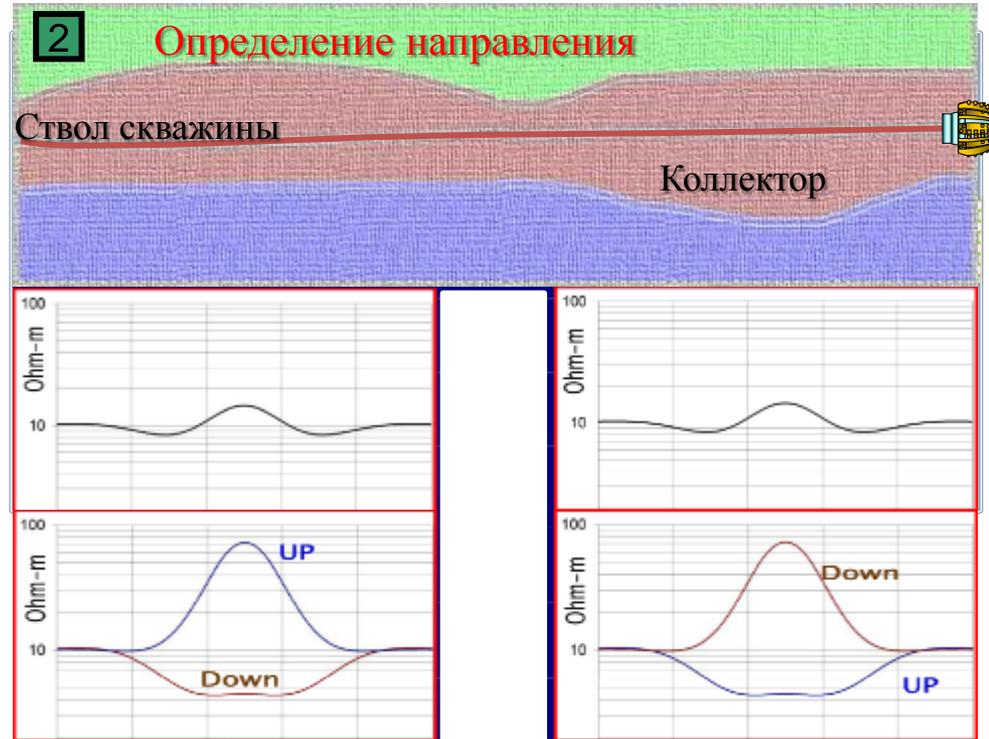
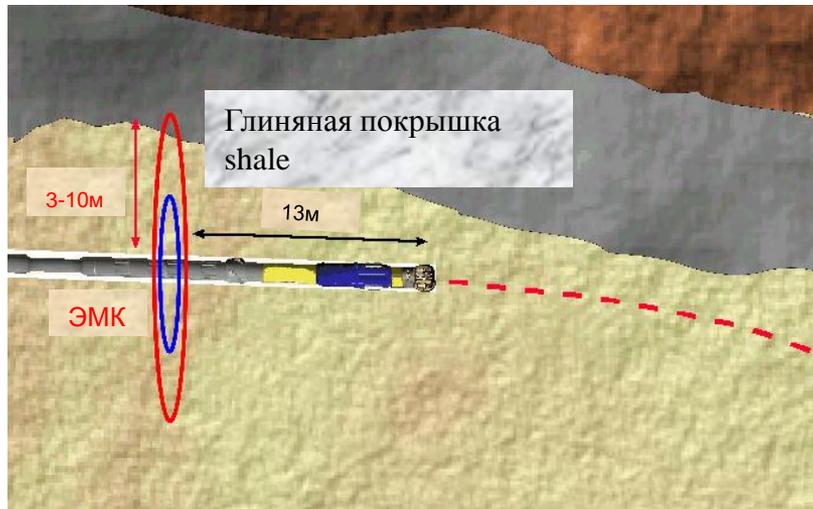
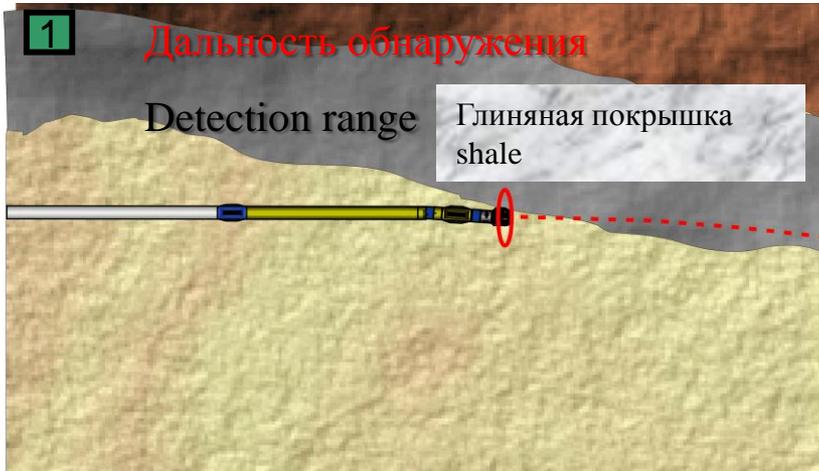
Calculation accuracy of the distance to the boundary

- Возможность оперативной корректировки траектории до пересечения долотом нежелательной границы

Possibility to adjust a trajectory in a proper time, until bit penetrates an undesirable boundary



Картирование границ Mapping boundaries



Прибор глубинного азимутального ЭМ каротажа

Deep Azimuthal Multiple Propagation tool



Для картирования границ используется комбинация фазовых и амплитудных сопротивлений на трех частотах 100КГц, 400ЛГц и 2МГц

It is a combination of phases and attenuations resistivity on three frequencies 100 kHz, 400kHz and 2mHz that is used for mapping boundaries

Технические характеристики

Диаметр, дюймы	4-3/4	
Непромер, фт / м	17.25/5.26	
	Phase	Attenuation
Рабочий диапазон, Омм	0.1 to 4,000	0.1 to 200
Погрешность измерений, мСм	±0.25	±0.5

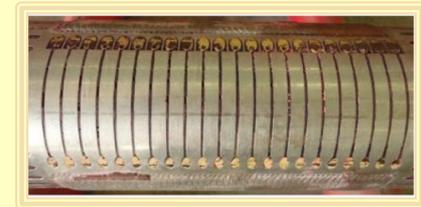
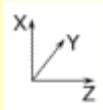
Отбивка границ

Отбивка границ	Phase	Attenuation
Дистанция обнаружения вмещающих пород с УЭС 1 Омм из коллектора с УЭС 100 Омм		
2MHz deep (4.75in) Ft/m	5.5/1.7	10.4/3.2
400kHz deep (4.75in) Ft/m	8.9/2.7	11.3/3.4
100kHz (4.75in)	17.8/5.4	21.9/6.7

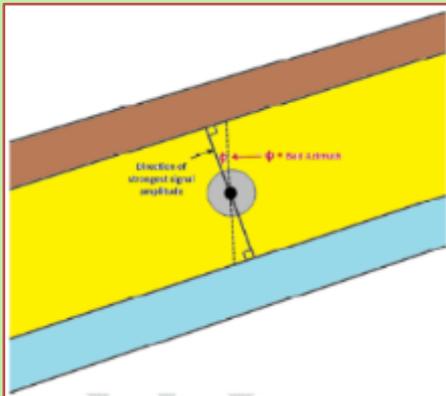
Физические основы глубинного электромагнитного каротажа

Physical basics of resistivity measurement

Если оси передающих или приемных антенн ортогональны оси прибора, то при его вращении будут измеряться азимутальные УЭС горных пород.
If the axes of transmitting or receiving antennas are orthogonal to the tool axis, azimuthal resistivity of rocks will be measured during rotation.



Направленный сигнал указывает на более проводимую формацию.
A more conductive formation is indicated by a directional signal.

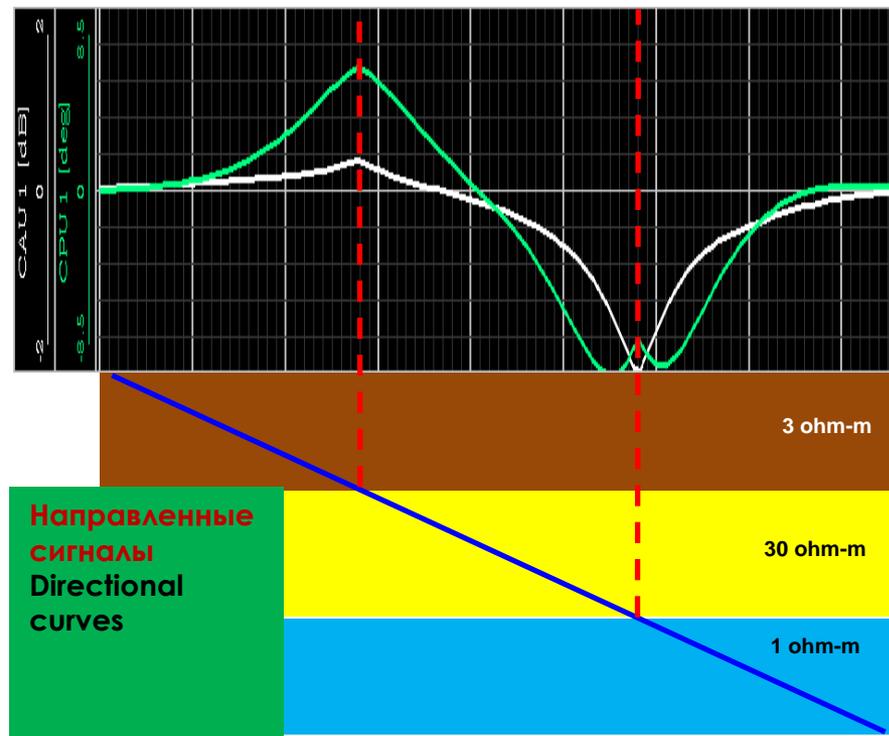
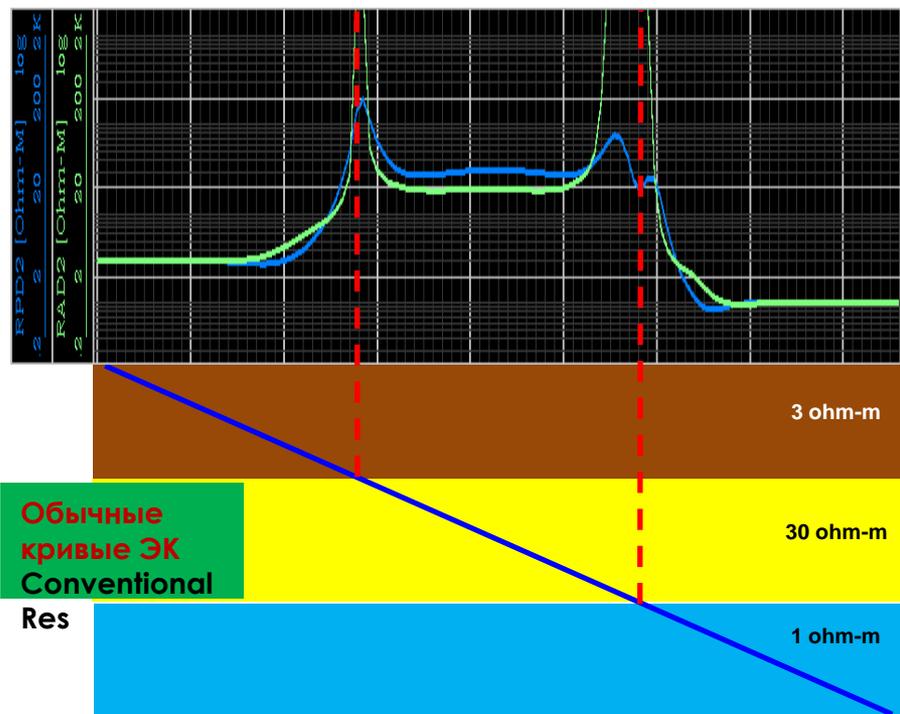


Максимальный сигнал регистрируется когда ось направленной антенны перпендикулярна границе раздела
Maximum signal appears when axis of directional antenna is perpendicular to the boundary

Картограф границ. Глубинный азимутальный электромагнитный картаж

Deep azimuthal propagation multiple Resistivity tool

Определение расстояния до границы
Defining of distance to the boundary



**Примеры работы картографа в сложных
геологических условиях месторождений
Западной Сибири**

**Performance examples of the deep
azimuthal multiple resistivity tool in
oilfields of West Siberia**

Скважина 1

Краткая информация по месторождению

Well 1

Brief geological information of oilfield

- Большая часть скважин бурится под заканчивание многостадийным ГРП, поэтому главная задача геонавигации - максимальное вскрытие продуктивного разреза, с целью вовлечения в разработку как можно большее число прослоев, сложенных коллекторами

The most part of wells is designated to be completed by multistage fracking, therefore the main geosteering objective is to provide a maximum covering of target formation with the purpose of involving in production as many layers of reservoir rocks as possible

- Целевой пласт литологически представлен сложным чередованием песчаников и глинистых разностей. Месторождение разбито на блоки многочисленными тектоническими нарушениями разного характера

Target formation is represented by interbedding sandstone and shale. Oilfield is divided by numerous tectonic faults, which have a different nature

Основные сложности в процессе геонавигации Main challenges during geosteering

- Картирование и геологическая интерпретация характера разломов (взброс, сброс, амплитуда).

Mapping and geological interpretation of fault types (drop fault, reverse faults, amplitude of fault etc)

- Определение положения ствола в стратиграфической части разреза после выхода из зоны разлома

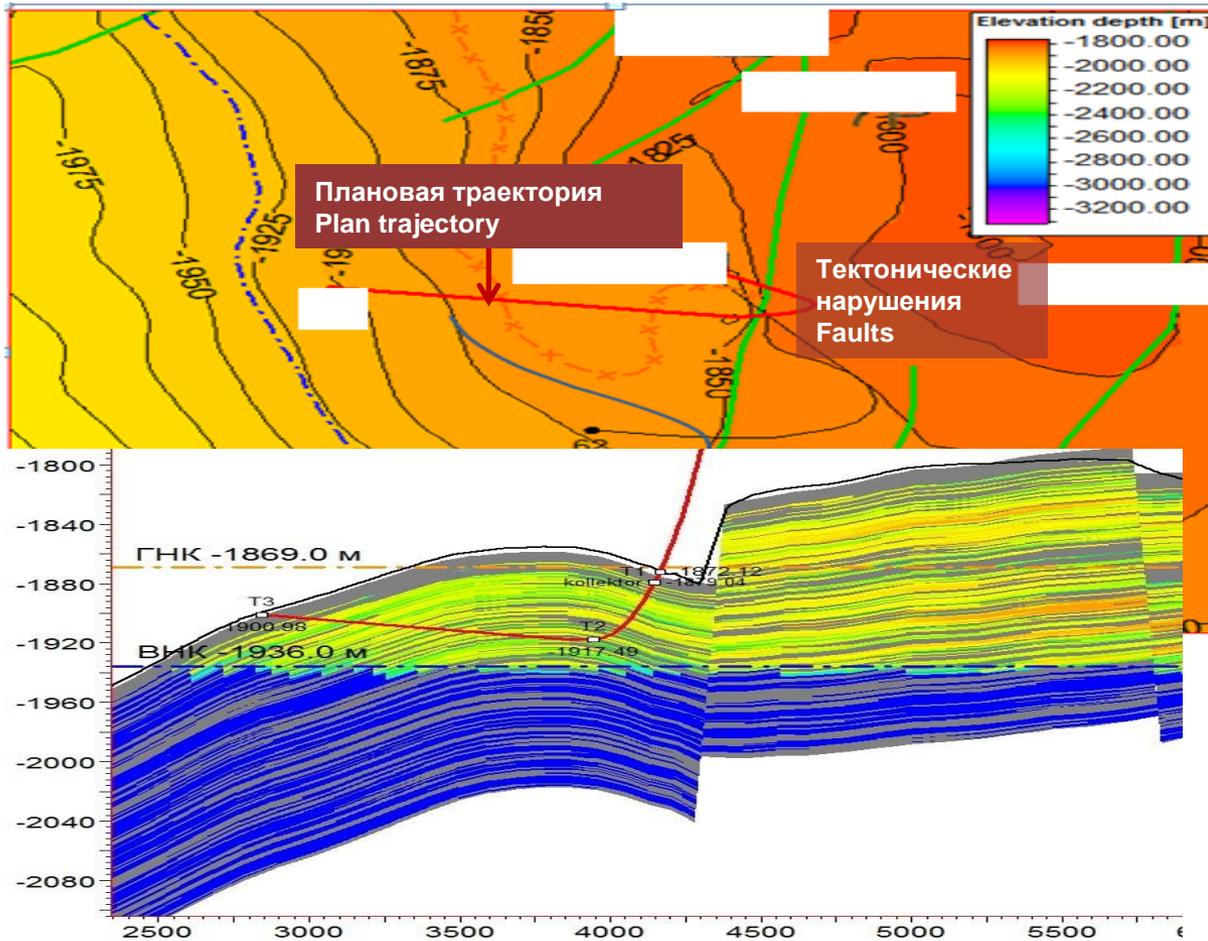
To determine in which part of reservoir wellbore is located, after exit from fault's zone

- Определение угла восстания/падения пласта (меняется от 0 до 5град на крыльях структуры) и на основе этого выбор стратегии геонавигации

Determination of formation dip (dip can vary from 0 to 5deg on wings of structure) and a geosteering strategy accordingly

Скважина 1. Краткая геологическая информация

Well 1. Brief geological information



Структурная карта по кровле целевого пласта
Structure map of Top target formation

Плановый профиль по кубу водо-нефтенсыщенности

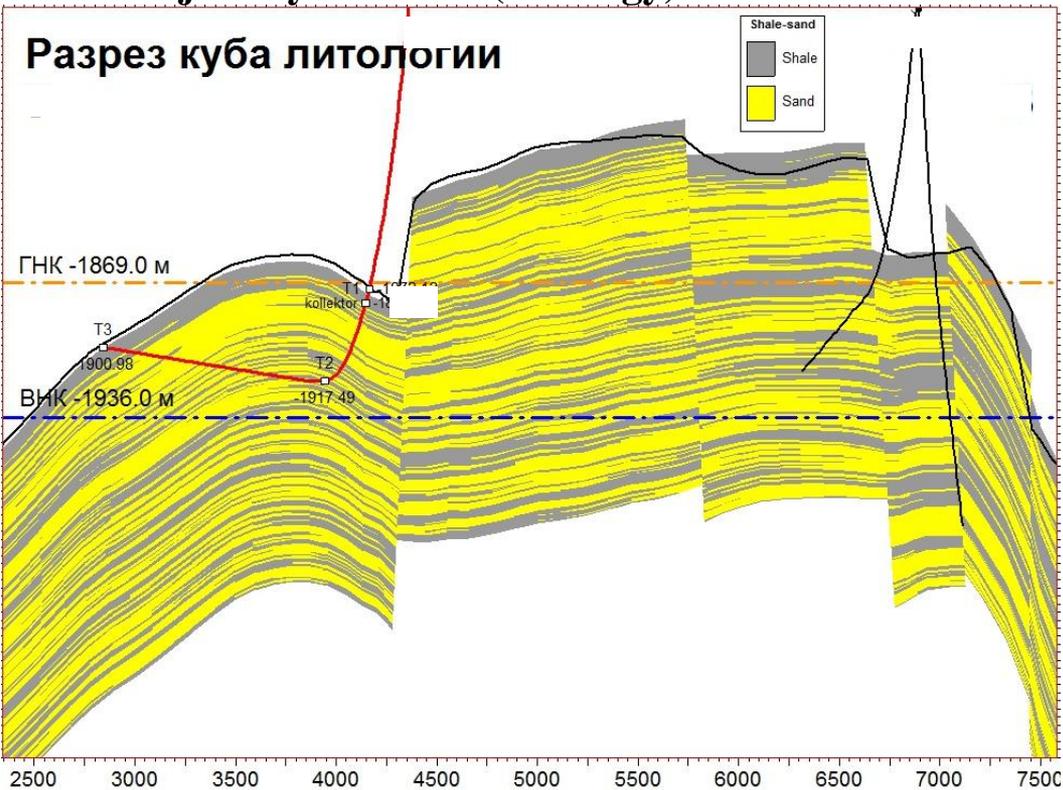
Plan trajectory in an oil-water saturation model

Модель куба литологии и временной сейсмический разрез

Lithology model and seismic profile

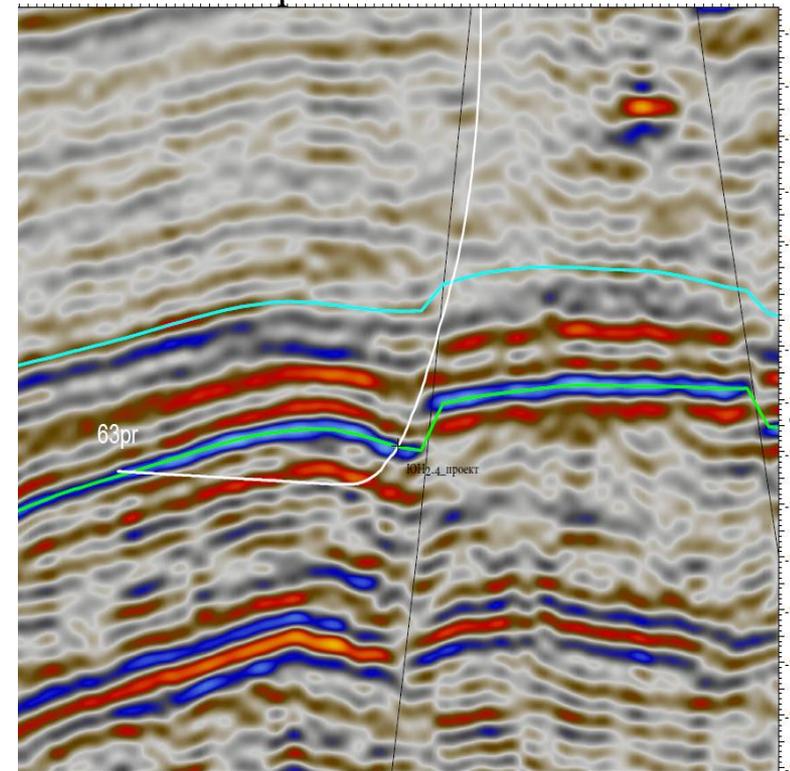
Plan trajectory in model (lithology)

Разрез куба литологии



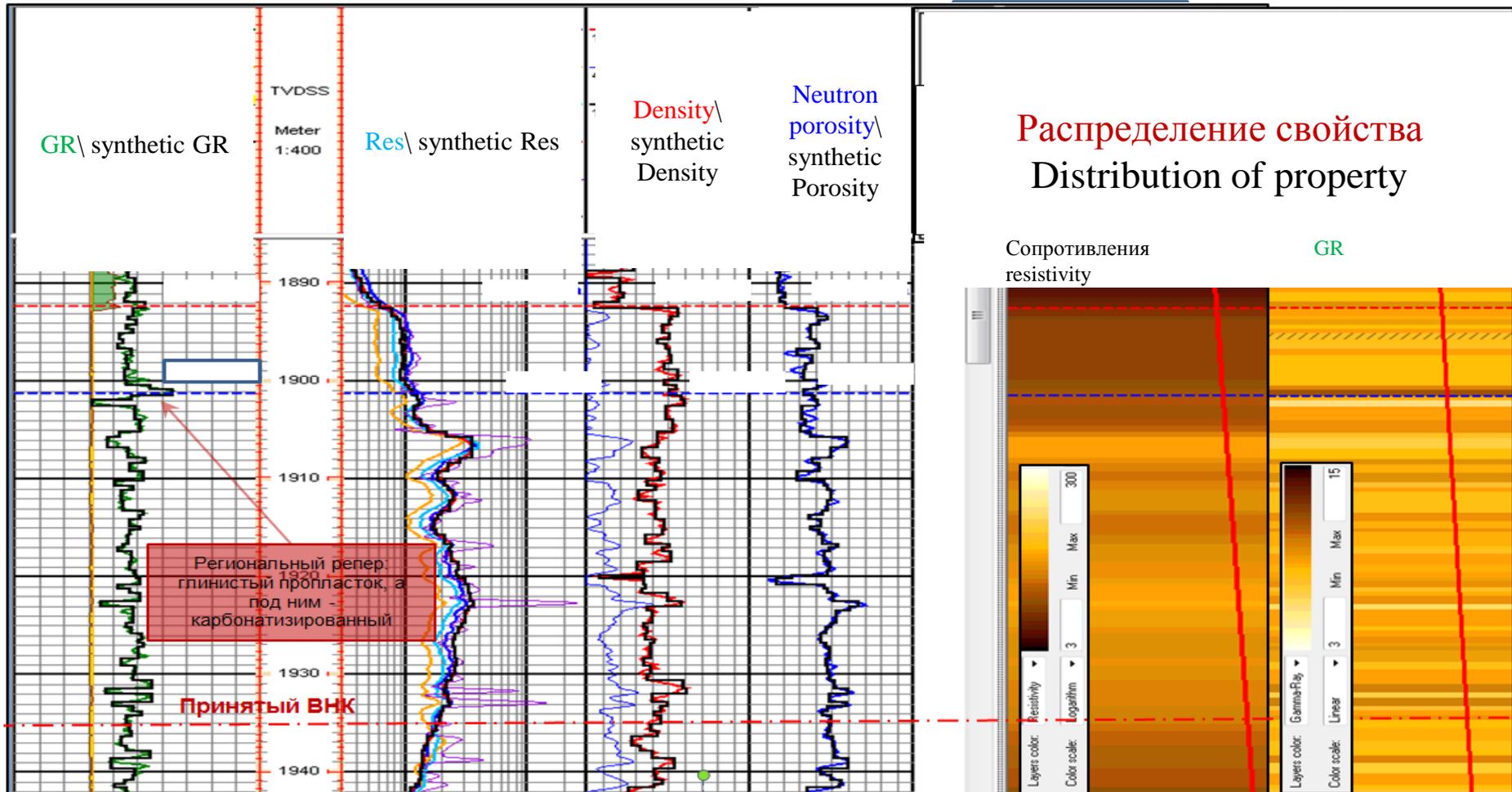
Временной сейсмический разрез

Time seismic profile



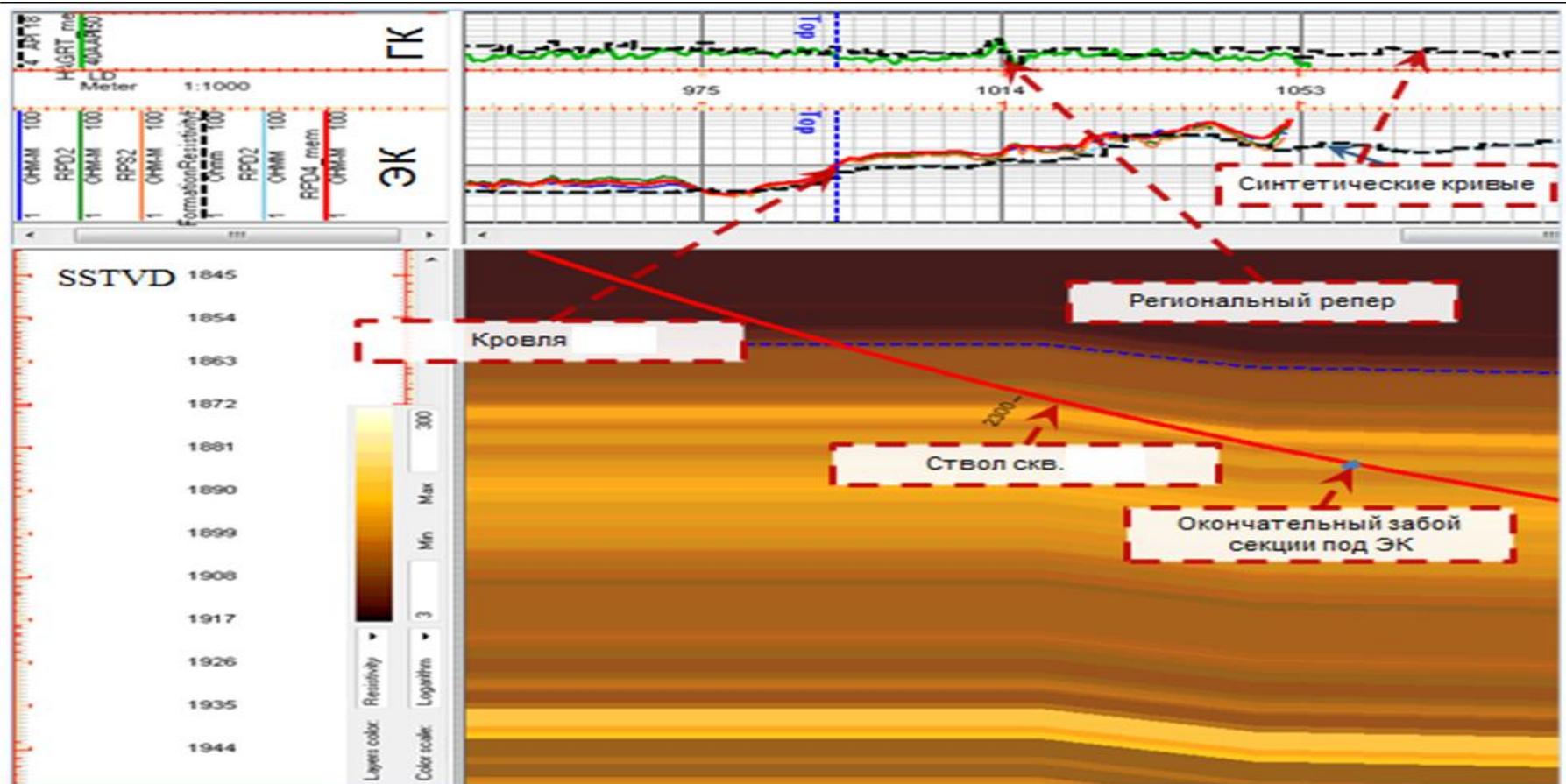
Литологическая колонка, созданная на основе опорной скважины (Squaring)

Lithology section created on base of offset well



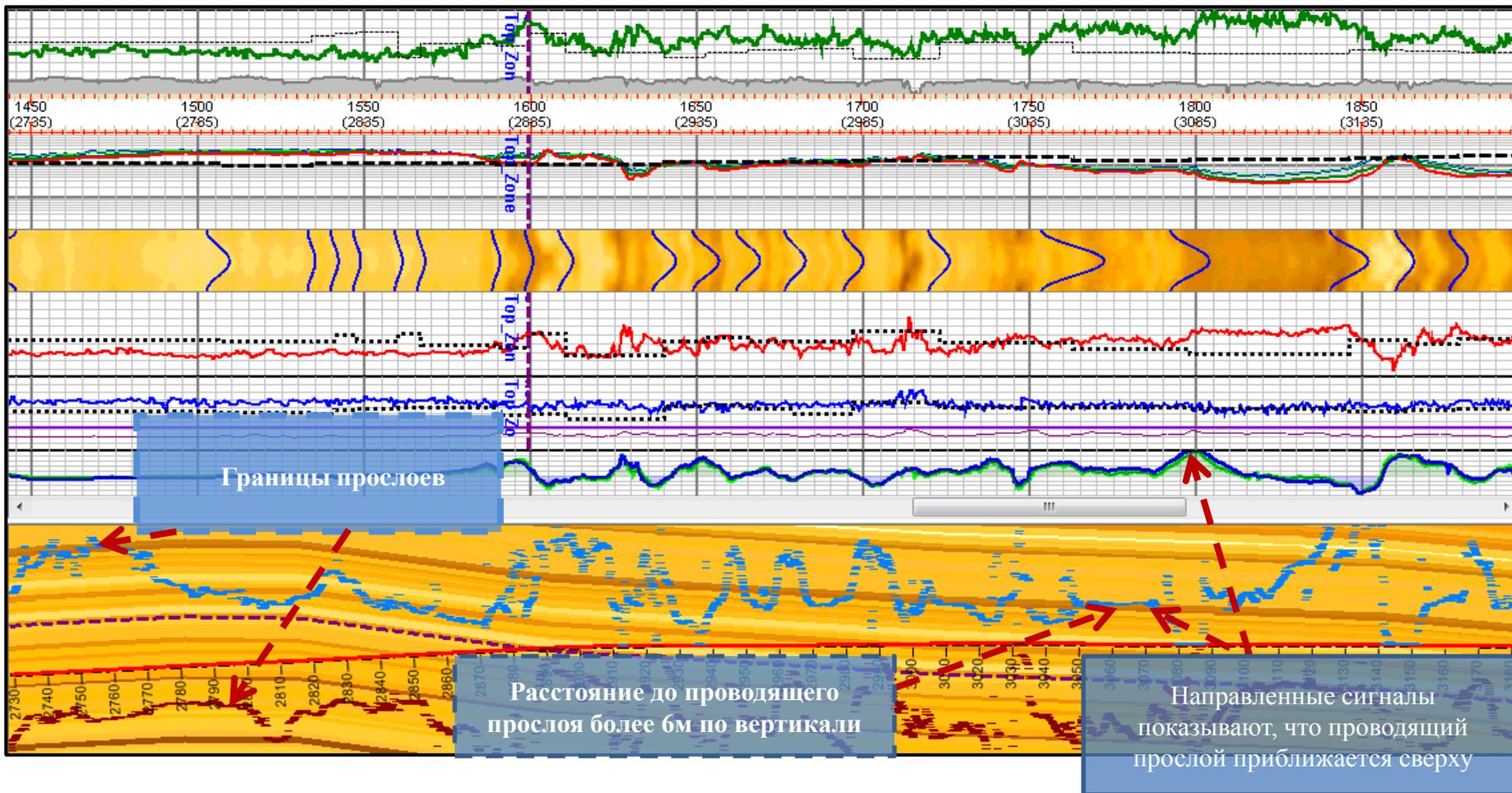
Геонавигационная модель, полученная после бурения транспортной секции (угол падения геологической структуры 1-3 градуса).

Geosteering model created after drilling a landing section (dip angle is 1-3 deg)



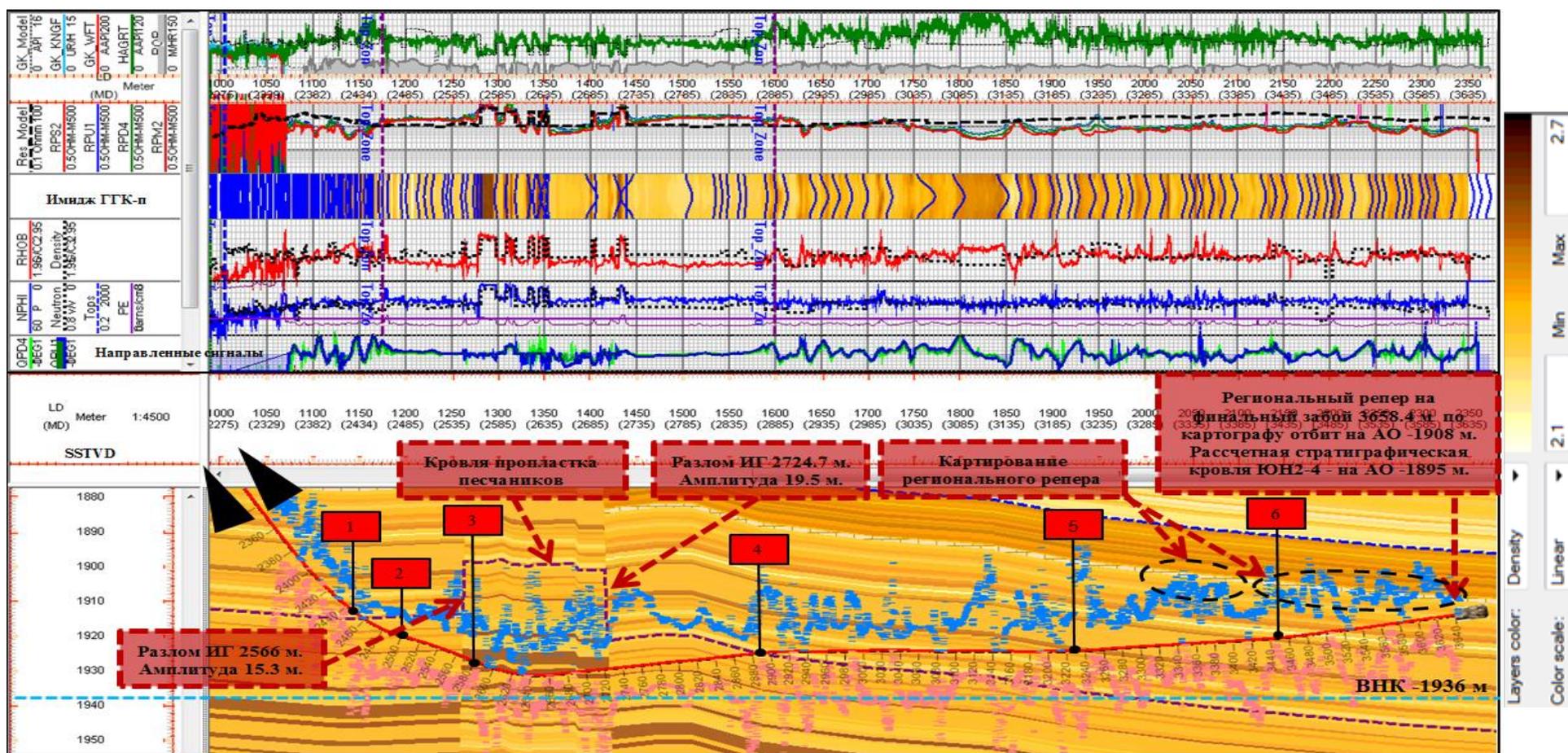
Задачи, решаемые картографом границ

Targets met with the use of Azimuthal resistivity tool



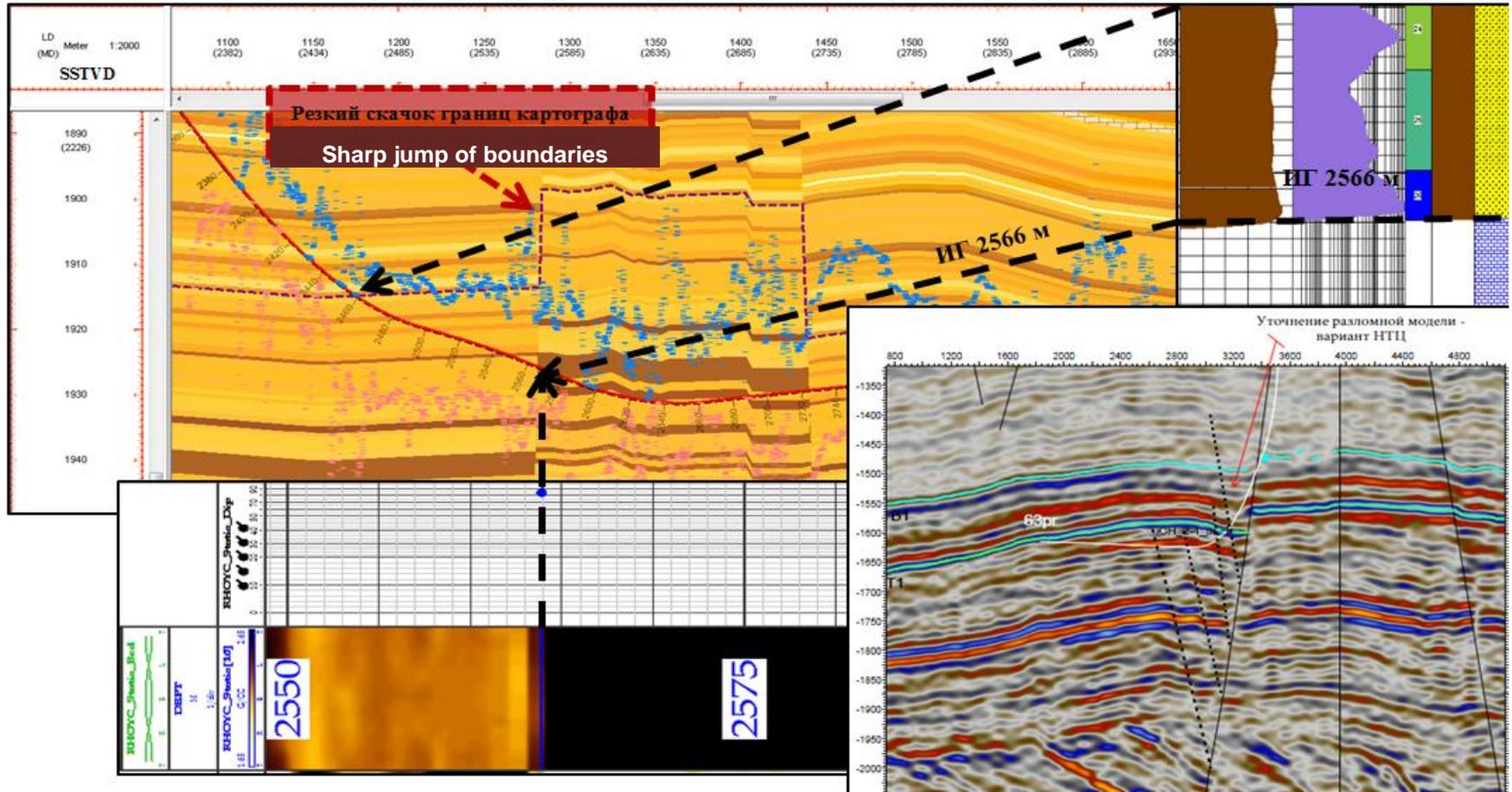
Геологическая 2D модель на финальный забой скважины

Final 2D geological model at the TD with points of decision



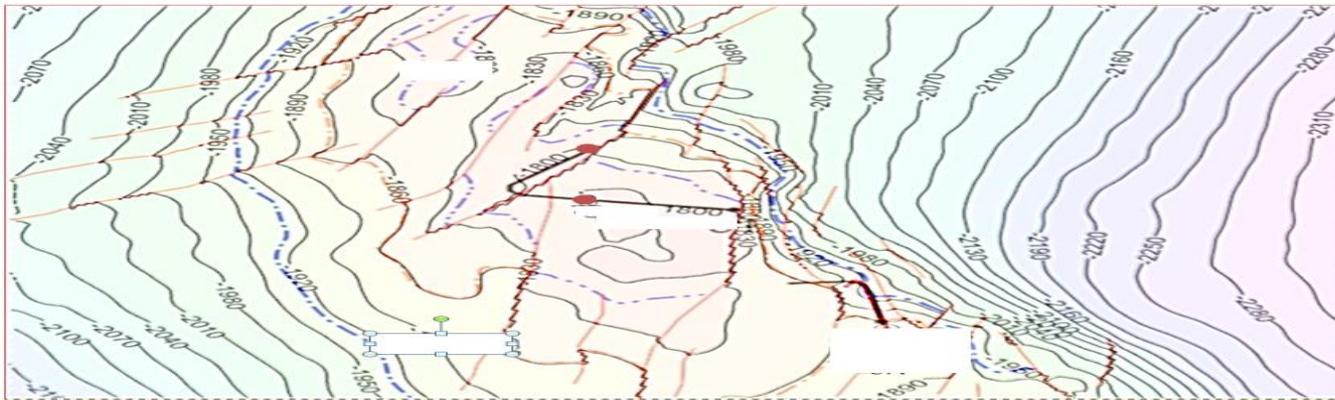
Сопоставление различных геофизических методов определения тектонического нарушения.

Comparison of different geophysical methods for determination of faults



Скважина 2. Краткая геологическая информация

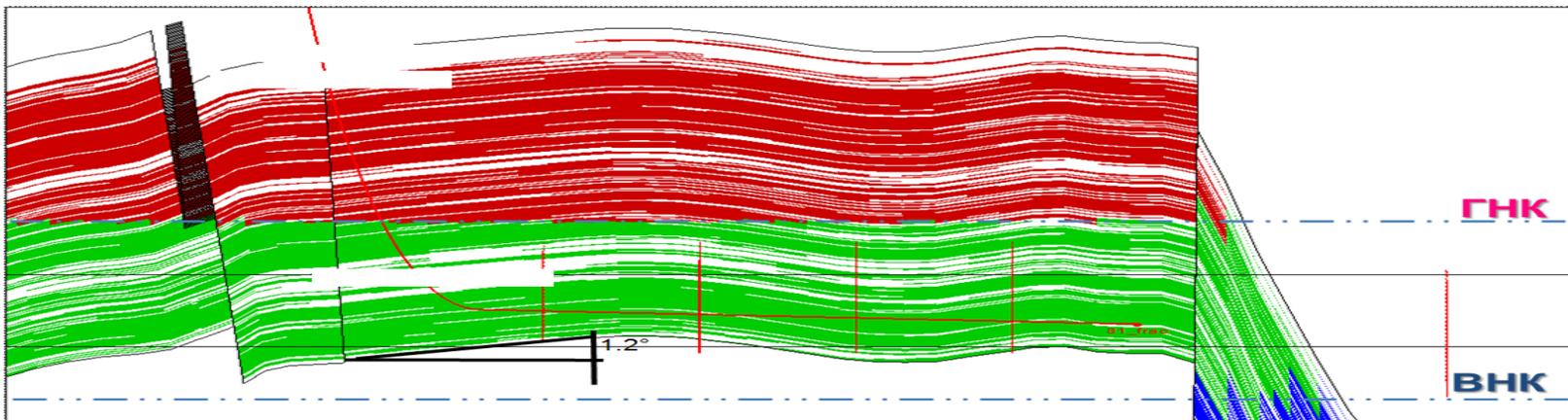
Well 2. Brief geological information



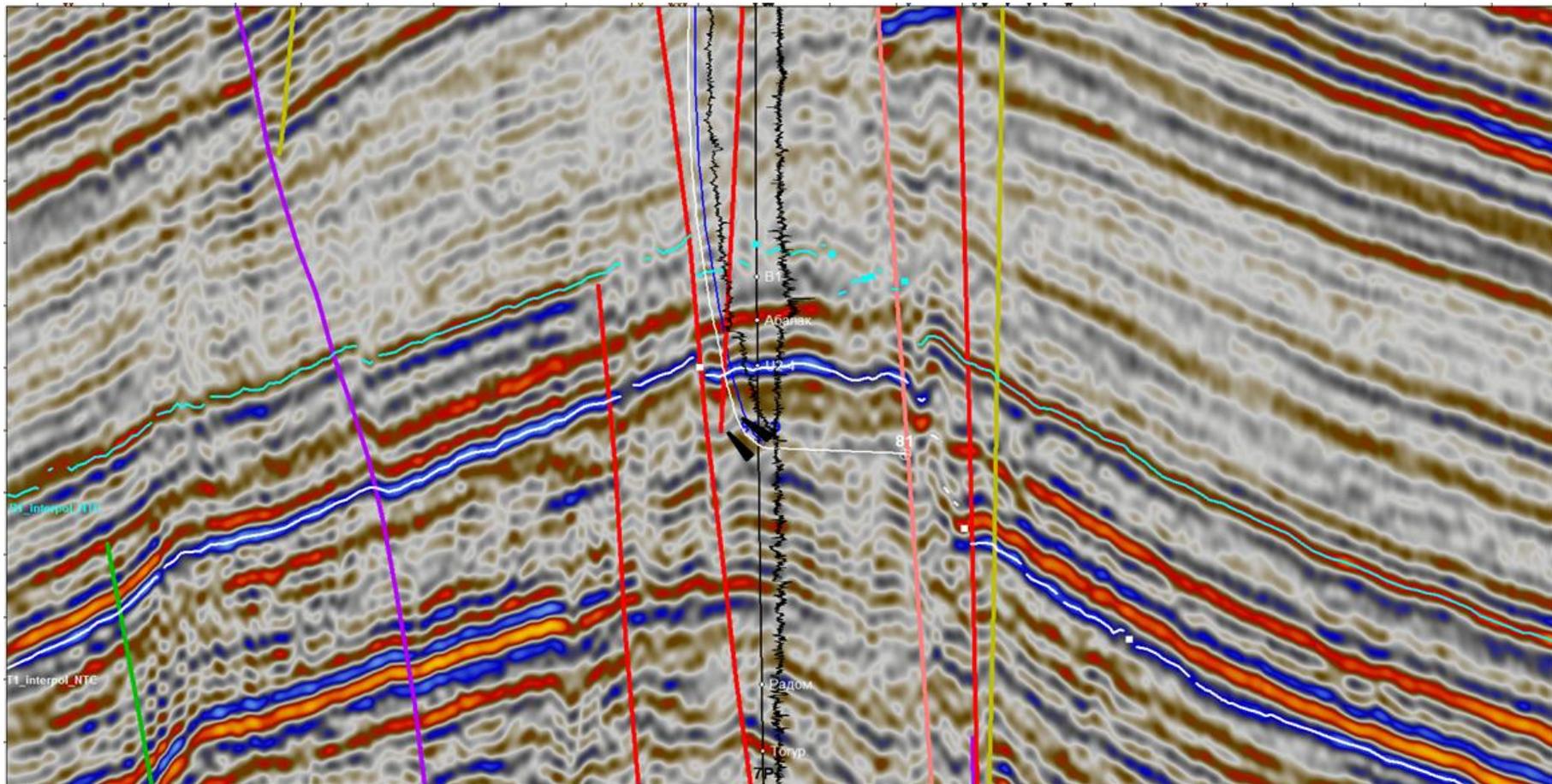
Структурная карта по кровле целевого пласта
Structure map of Top target formation

Геологический профиль по азимуту горизонтальной секции. Кажущийся угол восстания структуры в начале горизонтальной секции -1.2°

Geological profile in azimuth of a horizontal section. Apparent dip at the top of HS is around 1.2deg up

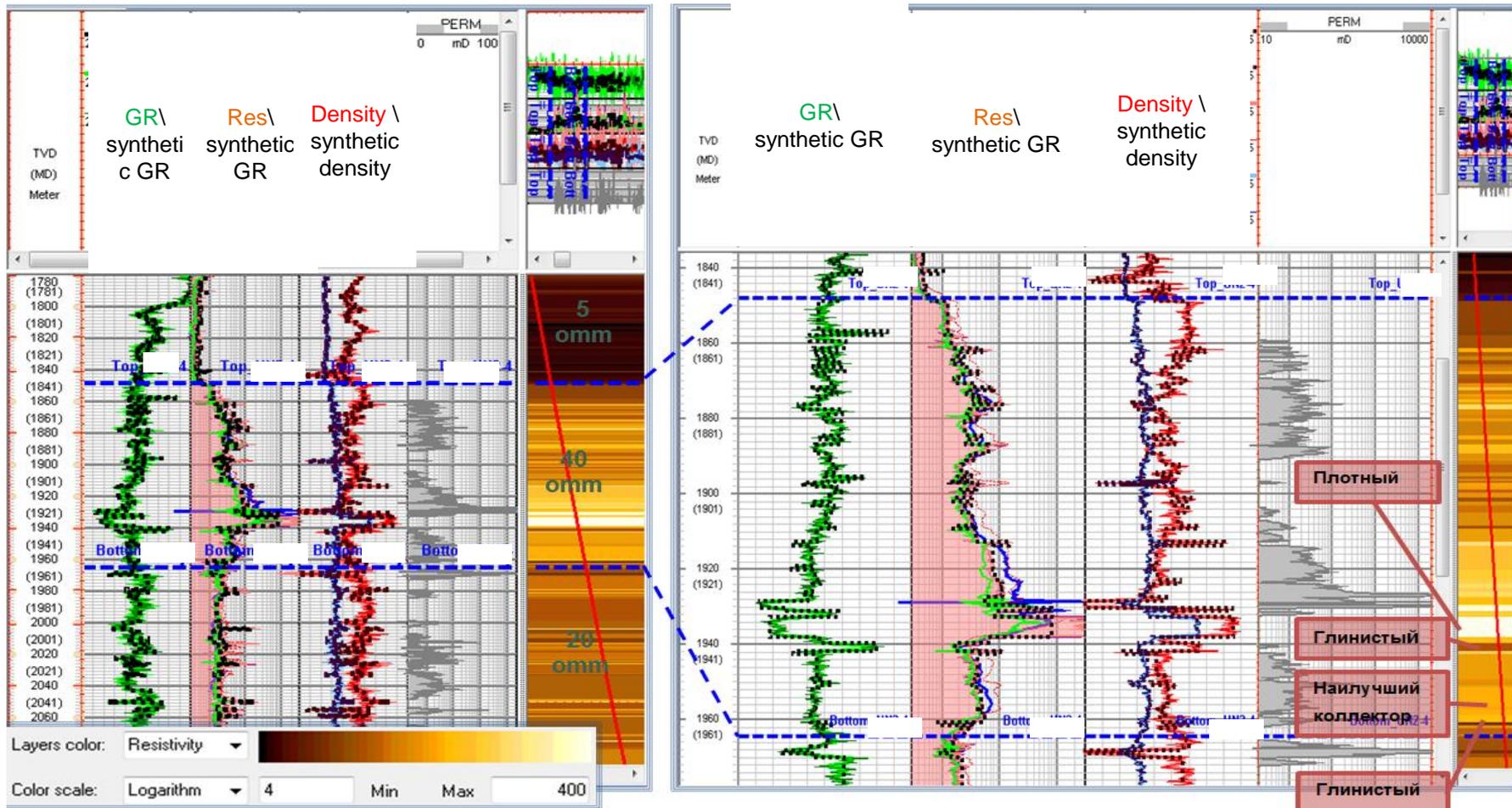


**Сейсмический профиль по азимуту
горизонтальной секции
Seismic profile in azimuth of drilling**



Литологическая колонка, созданная на основе опорной скважины (Squaring)

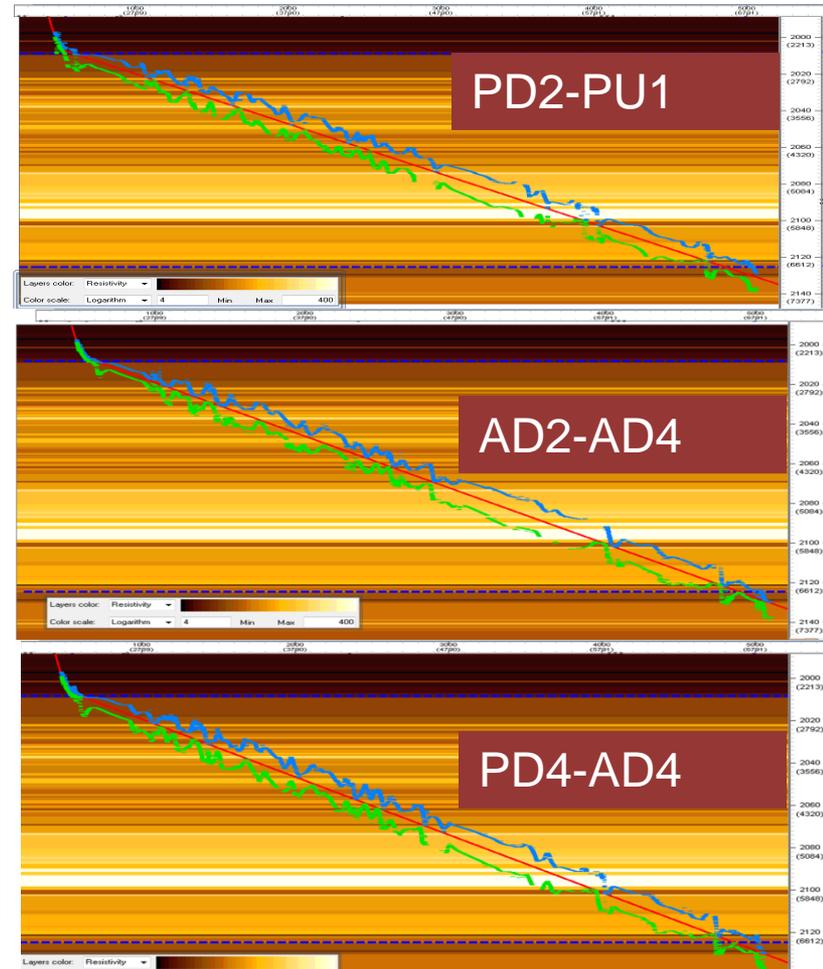
Lithology section created on the base of offset well



Матрица моделирования откликов картографа

Matrix of Resistivity tool response modelling

	PD2	AD2	PD4	AD4	PU1	AU1
PD2		1. СРЕДНЕ	2. СРЕДНЕ	3. СРЕДНЕ	4. ХОРОШО	5. СРЕДНЕ
AD2			6. ПЛОХО	7. ХОРОШО	8. ПЛОХО	9. ПЛОХО
PD4				10. ХОРОШО	11. СРЕДНЕ	12. ПЛОХО
AD4					13. СРЕДНЕ	14. ПЛОХО
PU1						15. СРЕДНЕ
AU1	Расшифровка мнемоник: P – фаза, A – амплитуда; D – дальний зонд, U – ультрадальний зонд; 2 – 2Мгц, 4 – 400Кгц, 1 – 100КГц.					



Выбраны

Selected:

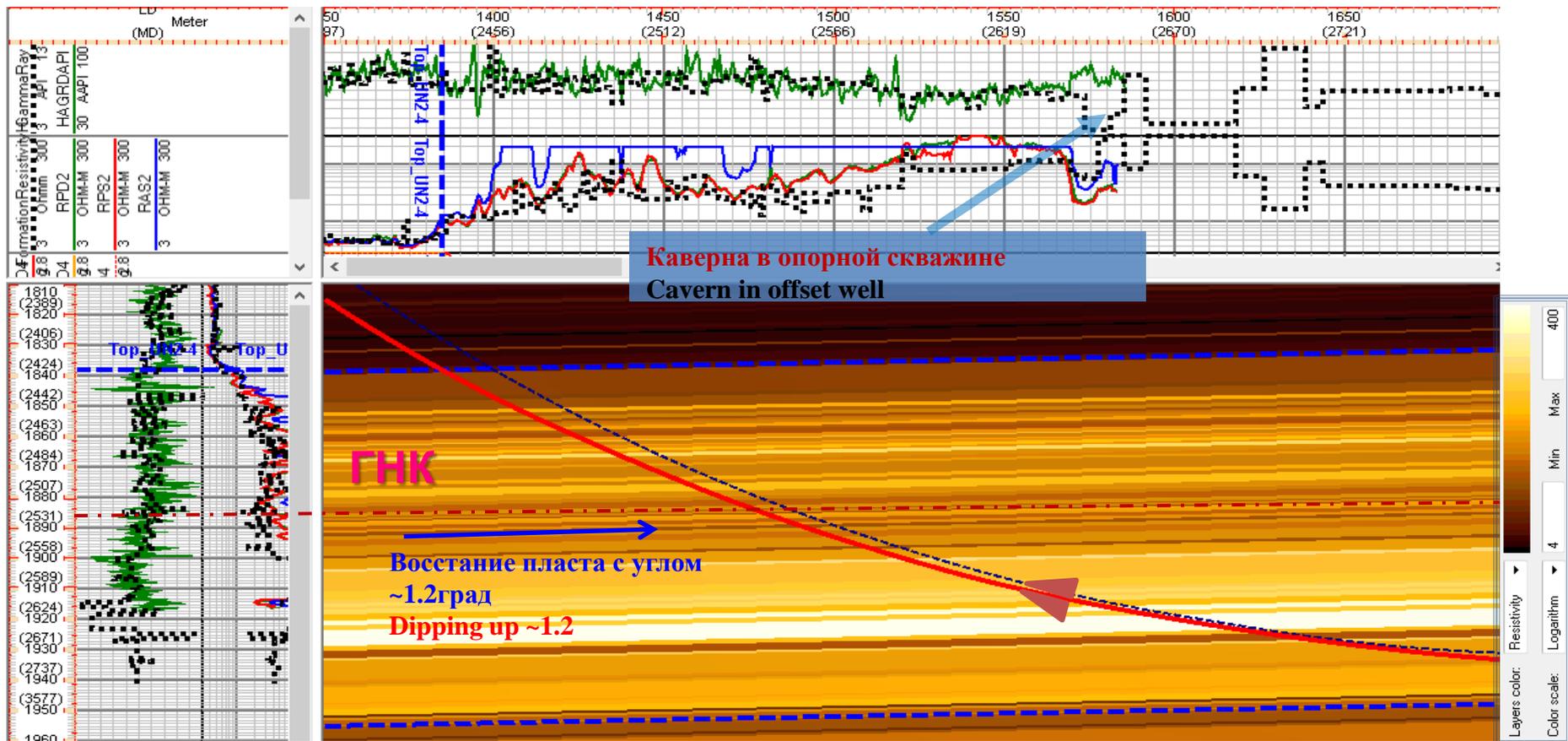
PD2-PU1-основной набор\ main combination

PD4-AD4-альтернативный\ alternative combination

AD2-AD4-альтернативный\ alternative combination

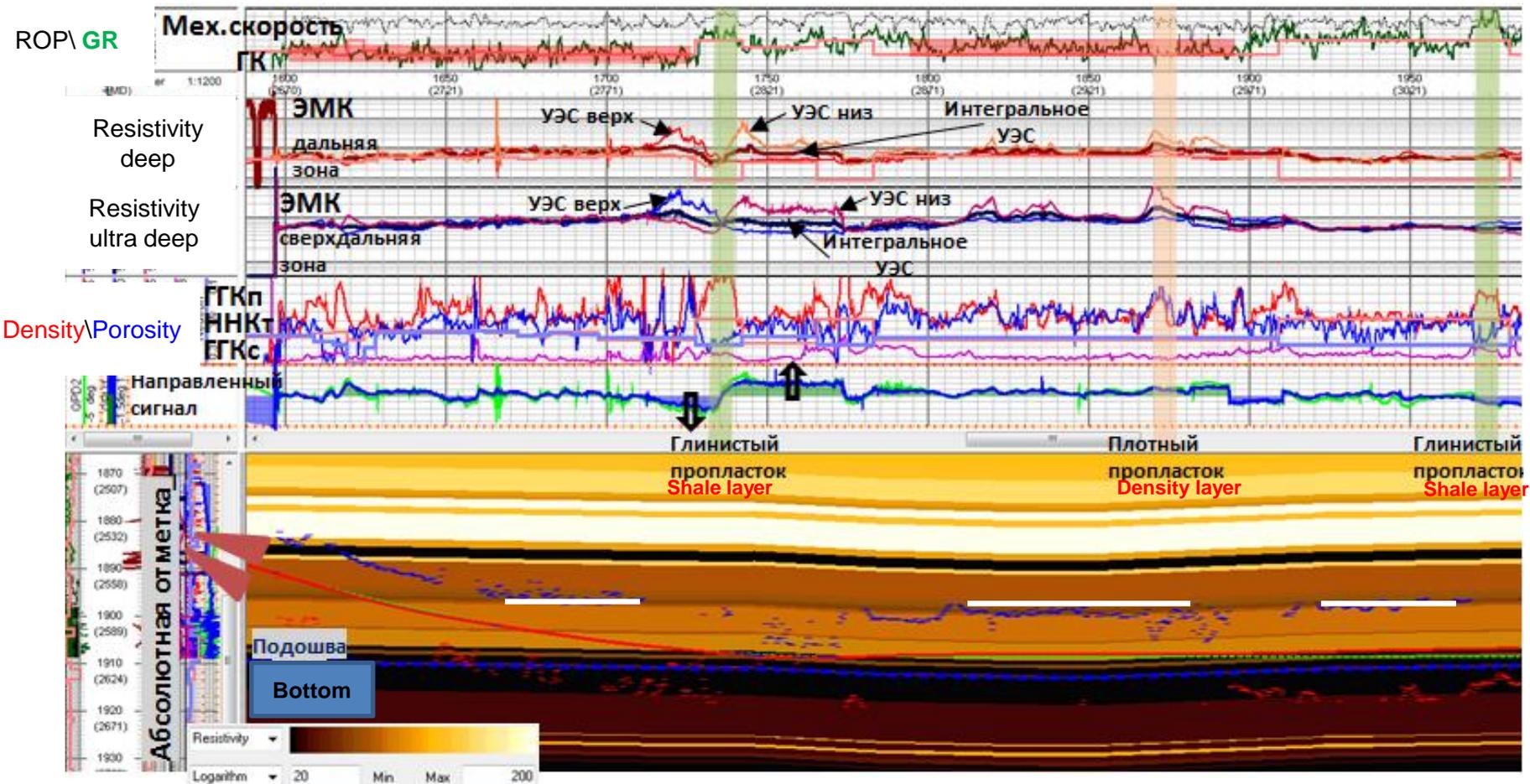
Геонавигационная модель, полученная после бурения транспортной секции.

Geosteering model created after drilling a landing section



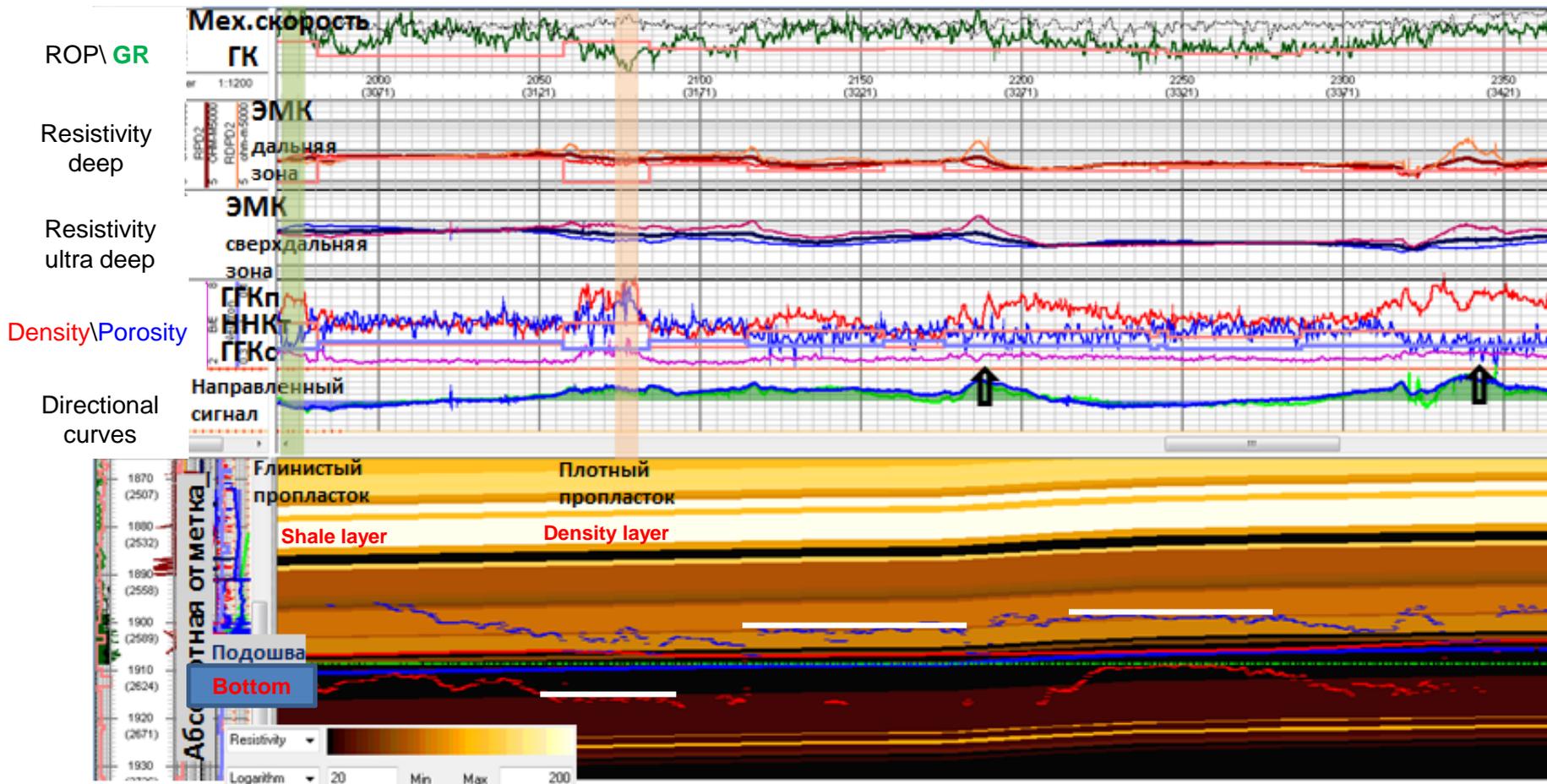
Работа прибора ЭМК в процессе бурения горизонтальной секции

Azimuthal resistivity tool performance while drilling a HS



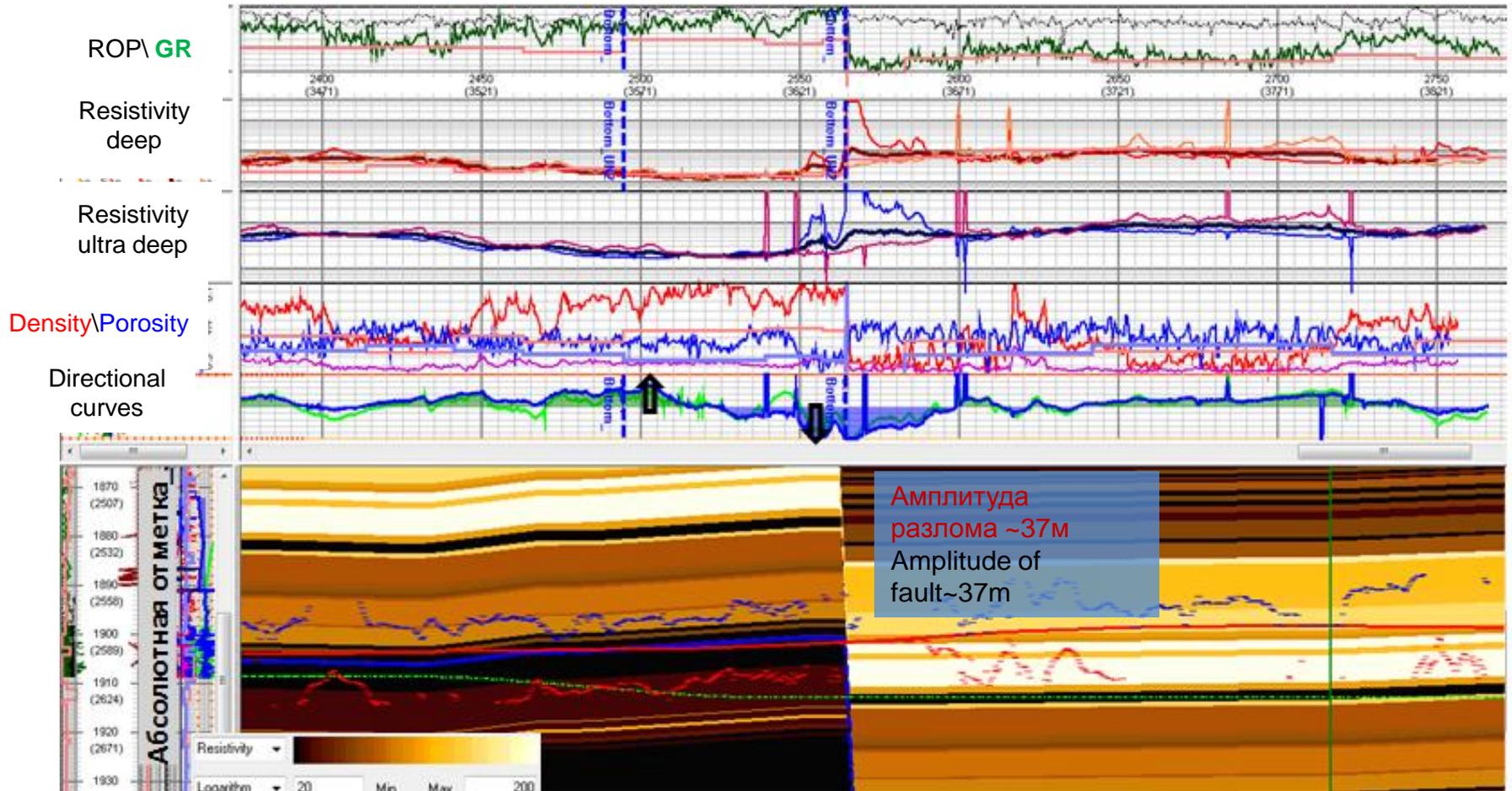
Работа прибора ЭМК в процессе бурения горизонтальной секции

Azimuthal resistivity tool performance while drilling a HS



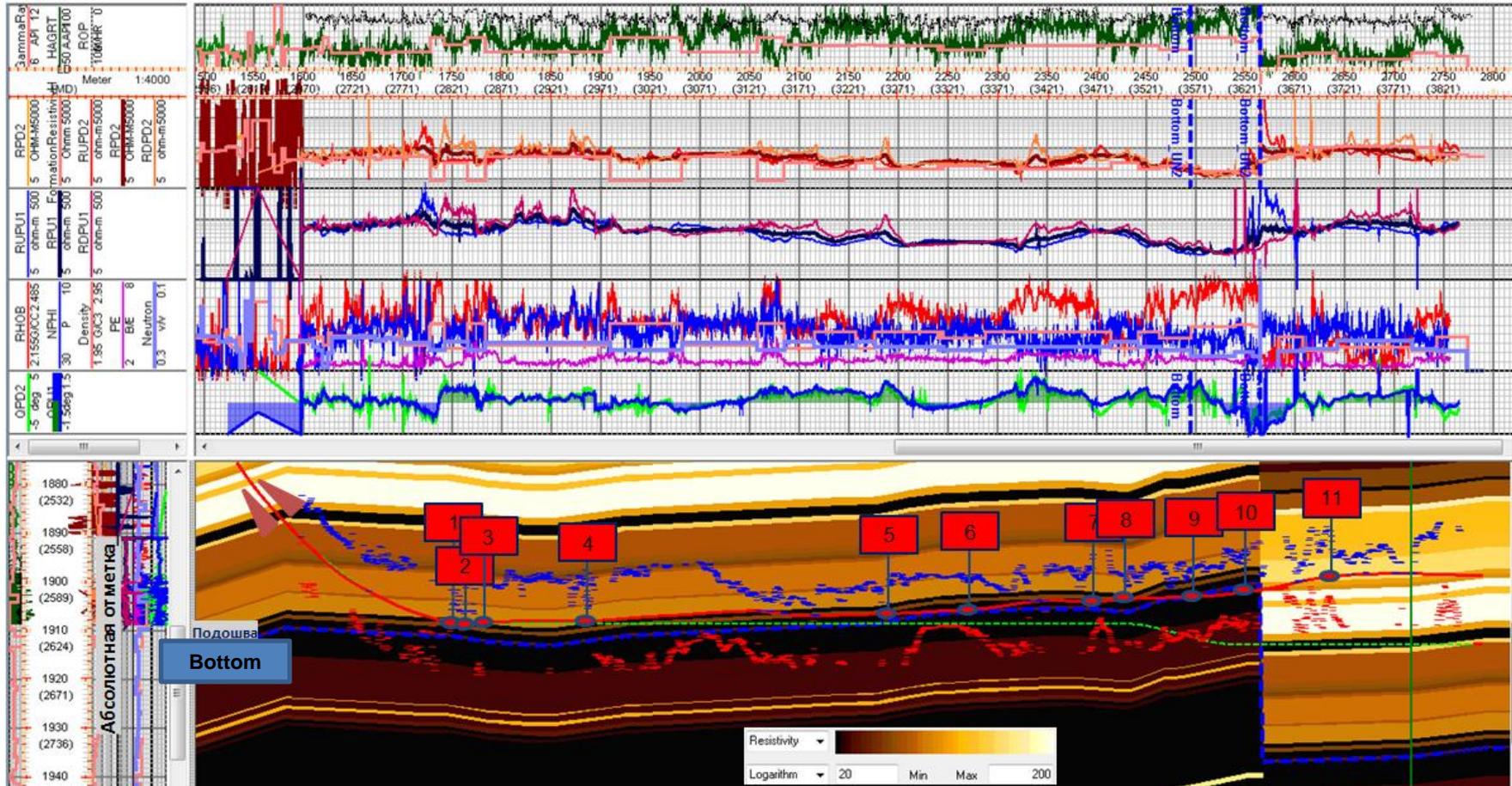
Работа прибора ЭМК в процессе бурения горизонтальной секции

Azimuthal resistivity tool performance while drilling a HS



Геологическая 2D модель на финальный забой скважины

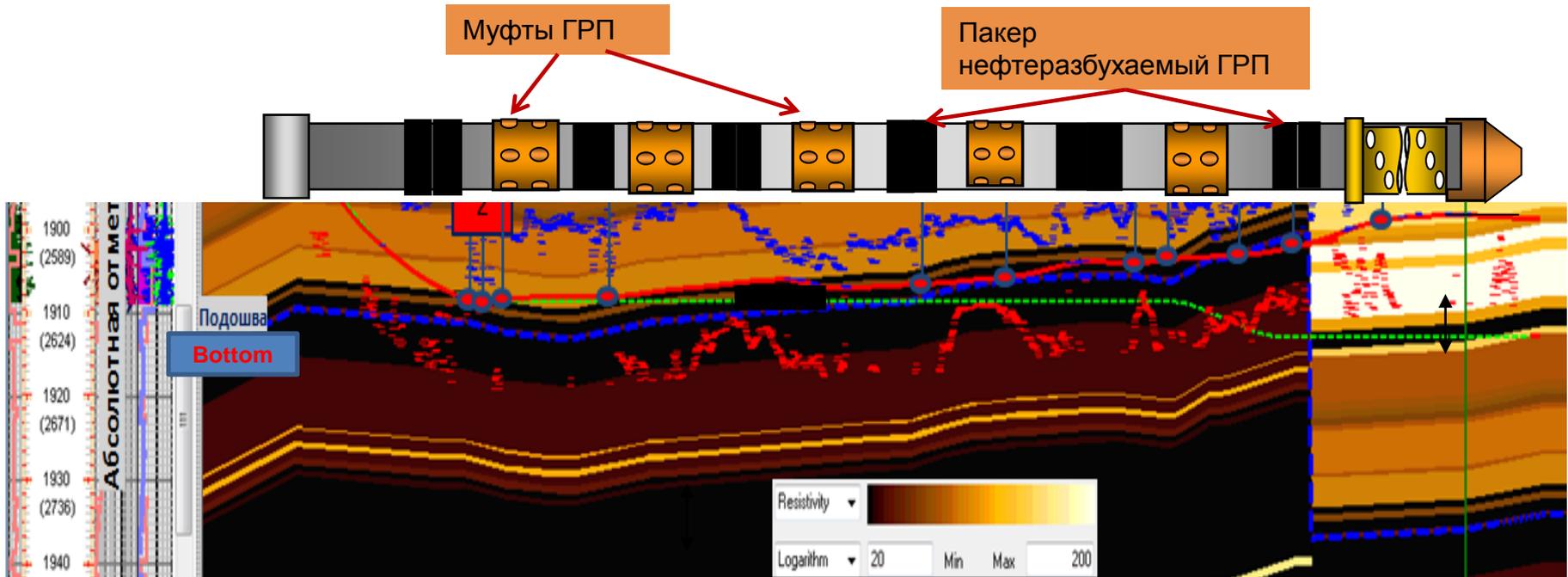
Final 2D geological model at the TD with points of decision



Значение сервиса геонавигации для Заказчика Value of geosteering service for Customer

Полученную в процессе геонавигации геолого-геофизическую информацию, Заказчик использует при сборке оснастки хвостовика. В частности, для расположения портов и пакеров для проведения качественного многостадийного ГРП

Customer uses geology and geophysics information acquired while drilling a HS for assembling a liner. In particular, for placing ports and packers to ensure a multi-stage fracturing of a high quality.



Значение сервиса геонавигации для Заказчика Value of geosteering service for Customer

Results of wells testing dated 01.02.2015

Результаты исследований скважин на 01.02.2015г.

Daily oil production rate

Дебит нефти, тн. сут.

Прогноз

по программе исследований

Факт

по исследованию

Forecast of production according of testing plan

Actual production

157

147

327

320

196

405

196

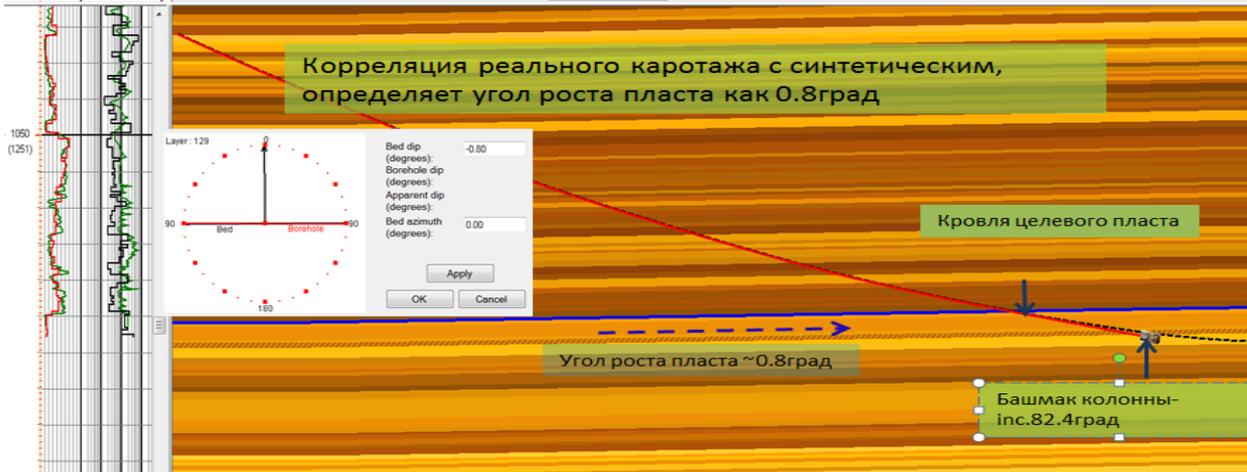
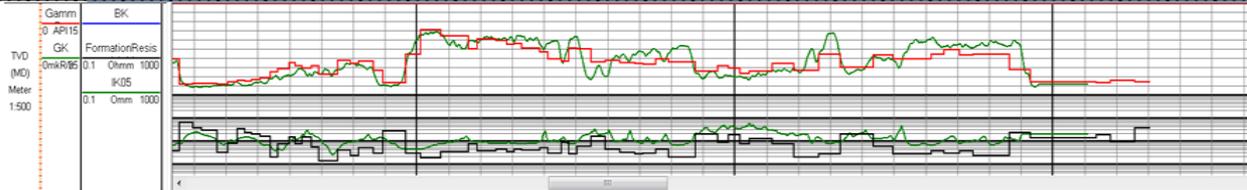
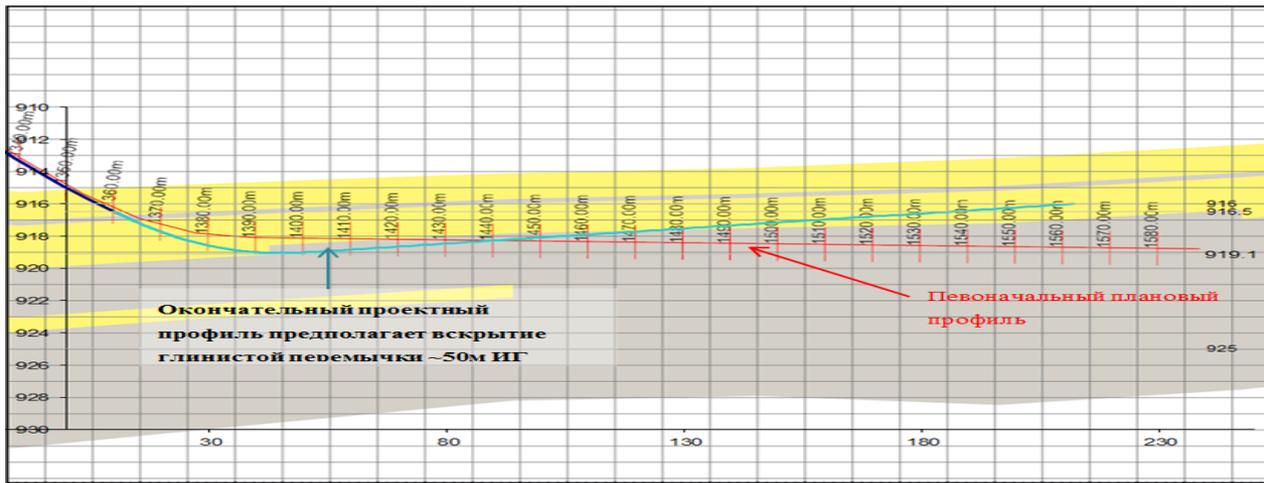
341

Скважины пробуренные с использованием сервиса геонавигации
Wells drilled with geosteering service

Скважина 3. Краткая геологическая информация

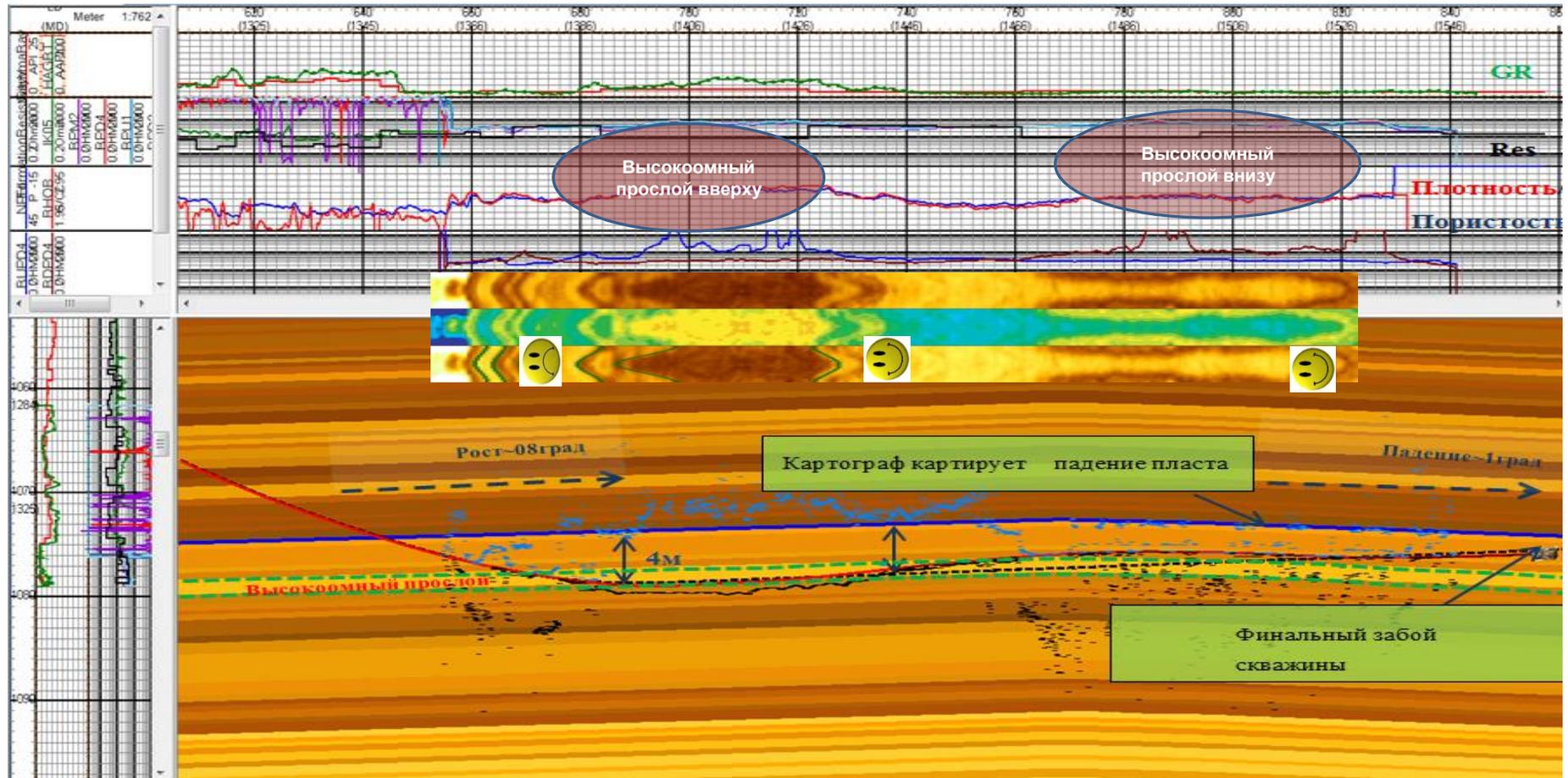
Well 3. Brief geological information

- Целевой пласт представлен карбонатными породами (известняками)
- Target formation represented by a Carbonate reservoir



Геологическая 2D модель на финальный забой скважины

Final 2D geological model at the TD



Выводы и Рекомендации

Conclusions & Recommendations

- Накопленный опыт использования глубинного азимутального ЭМК показывает, что прибор способен картировать границы даже в условиях сложного тонкого переслаивания пород**
Accumulated experience of utilizing the deep azimuthal resistivity tool shows that the tool can map boundaries even under complicated conditions of thin interbedding of rocks
- Для качественного решения задач по геонавигации необходимо оптимально использовать данные ЭМК совместно с TripleCombo**
It's mandatory to use the azimuthal resistivity tool with TripleCombo for qualitative achievement of geosteering targets
- Анализ опыта использования картографа показывает, что прибор способен решать и более сложные задачи и может быть рекомендован для проводки ГС в пластах малой мощности («ленточные коллекторы»), в заданном Заказчиком определенном интервале (1-2м ниже кровли или выше подошвы и т.п), в условиях высокой неопределенности с углом восстания/падения пласта**
Performance analysis based on running the azimuthal resistivity tool shows that the tool can meet even more complicated geological objectives and can be recommended to be used for placing a wellbore in reservoirs of a little thickness or in interval specified by Customer (1-2m below the top of target or above bottom, etc.) in conditions with high uncertainty of a structure behavior.

Вопросы?
Questions?

Спасибо за внимание
Thanks for your attention!

