

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2025.1.120-135>

EDN LGPVNL

УДК 550.8

Повышение эффективности геологического сопровождения бурения в тектонически активных зонах

Константинов К.В., Лапина Е.И., Радионов А.Н.

ООО «Тюменский нефтяной научный центр», Тюмень, Россия

Improving the efficiency of geological support of drilling in tectonically active zones

K.V. Konstantinov, E. I. Lapina, A.N. Radionov

Tyumen Petroleum Research Center LLC, Tyumen, Russia

E-mail: anradionov@tnnc.rosneft.ru

Аннотация. Как известно, основное преимущество горизонтальных скважин в сравнении с вертикальными — это увеличение дебита за счет расширения области дренирования и увеличение площади фильтрации [2].

При бурении ГС возникает ряд неопределённостей и рисков. Одним из таких факторов является наличие разломов в области проводки ствола скважины. В представленной работе рассмотрены примеры встречаемых трудностей, связанных с тектоническими нарушениями и пути их решения в процессе сопровождения горизонтальных скважин.

Сегодня сейсморазведка активно используется не только в целях оптимизации разработки месторождений, но также при сопровождении бурения. В данной статье описаны варианты использования данных сейсморазведки для минимизации рисков бурения в тектонически активных областях, ведь разломы могут оказывать влияние, как на эффективность проходки, так и на последующую работу скважины.

Ключевые слова: *горизонтальная скважина, разломы, риски и неопределенности, геологическая модель*

Для цитирования: Константинов К.В., Лапина Е.И., Радионов А.Н. Повышение эффективности геологического сопровождения бурения в тектонически активных зонах // Нефтяная провинция.-2025.- №1(41).-С. 120-135. - DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.1.120-135>. - EDN LGPVNL

Abstract. As is known, the main advantage of horizontal wells, in comparison with vertical ones, is an increase in flow rate due to the expansion of the drainage area and an increase in the filtration area [2].

There are a number of uncertainties and risks when drilling GS. One of these factors is the presence of faults in the area of the borehole wiring. In the presented work, examples of difficulties encountered related to tectonic disturbances and ways to solve them in the process of maintaining horizontal wells are considered.

Today, seismic exploration is actively used not only to optimize field development, but also to accompany drilling. This article describes options for using seismic data to minimize the risk of drilling in tectonically active areas, because faults can affect both the efficiency of drilling and the subsequent operation of the well.

Key words: *horizontal well, faults, risks and uncertainties, geological model*

For citation: K.V. Konstantinov, E.I. Lapina, A.N. Radionov Povyshenie effektivnosti geologicheskogo soprovozhdeniya bureniya v tektonicheski aktivnyh zonah [Improving the efficiency of geological support of drilling in tectonically active zones]. Neftyanaya Provintsiya, No. 1(41), 2025. pp. 120-135. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2025.1.120-135>. EDN LGPVNL (in Russian)

Введение

В статье «Пути снижения рисков при бурении горизонтальных скважин» [2] рассматривались существующие риски и неопределённости, которые в итоге влияют на эффективность проходки, как основной критерий успешности или неуспешности бурения ГС.

Данная работа является логическим продолжением с накопленным опытом и новыми встречаемыми проблемами. Основная цель - детальное рассмотрение влияния тектонического фактора на проводку горизонтальных скважин, встречаемые трудности и пути их решения с целью повышения эффективности проходки.

Наличие разломов в области бурения горизонтальных скважин может оказывать значительное влияние на эффективность проходки маломощных коллекторов, так как амплитуда разлома может превышать, либо быть сопоставима с мощностью целевого интервала, что приводит к риску уменьшения эффективности проходки горизонтального ствола.

Геологическое представление района работ

В качестве примера влияния тектоники на результаты горизонтального бурения, использованы месторождения Уватского района Тюменской области.

Основные перспективы нефтегазоносности на исследуемой территории связаны со сложнопостроенными среднеюрскими образованиями тюменской свиты. Основными объектами разработки являются пласты Ю₂-Ю₄.

Пласты Ю₂-Ю₄ формировались в континентальных условиях. Отложения представлены чередованием песчаников, аргиллитов и алевролитов с включениями углей. Континентальные отложения характеризуются высокой степенью неоднородности и изменчивости как по разрезу, так и по площади. Осадочный материал, переносимый древними реками, откладывался преимущественно в межгорных прогибах и руслах палеорек, в связи с чем разрез имеет резко выраженную латеральную изменчивость, а коллектора представлены песчаными фациями русловых отложений.

Еще немаловажным фактором является сложная волновая картина континентальных отложений, соответствующая юрскому комплексу, в целом характеризуется сложными интерференционными явлениями, локальными прекращением осей синфазности, связанными как с активной деятельностью речных систем, так и с тектоническими процессами (Рис. 1).

Такое сложное геологическое строение пластов Ю₂-Ю₄, при моделировании не может быть описано достоверно геостатическими алгоритмами и модель всегда представлена упрощенным вариантом. Данный факт дополнительно вносит неопределённости при планировании горизонтального ствола, так как нужно понимание, с чем может быть связана резкая изменчивость литологии, с литологическим строением или с тектоническим.

Тектоническое строение площади

В региональном плане территория работ расположена в пределах крупнейшей субрегиональной структуры, внутренней тектонической области – Центральной мегатеррасы, в пределах которой выделяется ряд надпорядковых структур. Изучаемый район расположен на сочленении Мансийской гемисинеклизы и Среднеиртышской синеклизы.

На начальном этапе подготовки месторождения к бурению для уточнения представления о структурно-тектонической модели проводится работа по локализации разрывных нарушений в юрских отложениях на основании имеющейся геолого-геофизической информации. Вопросы интерпретации разрывных нарушений являются весьма существенными для месторождения, находящегося на стадии бурения, поскольку разломные зоны могут являться гидродинамическими барьерами, обуславливая разобщенность продуктивных коллекторов и осуществлять резкую смену литологии.

Ввиду того, что разломы в юрских отложениях контролируются периодически активизирующимися в процессе осадконакопления блоками в фундаменте, выделялись те разломы, которые берут начало в толще доюрского основания и продолжают в осадочном чехле.

Однако выделение нарушений по разрезам осложняется рядом факторов. В первую очередь, это наличие достаточно больших углов наклона геологических границ осадочного чехла, вызванное влиянием выступов доюрского основания и связанных с ними разломов непосредственно в фундаменте. Данные структурные признаки на картах выделяются сильно изогнутыми линейными особенностями (Рис. 2). В осадочном чехле такие зоны могут быть осложнены вторичными разломами, однако их прослеживание затруднительно ввиду их незначительной амплитуды и, соответственно, большой неоднозначности в определении местоположения разлома и степени проникновения в осадочный чехол.

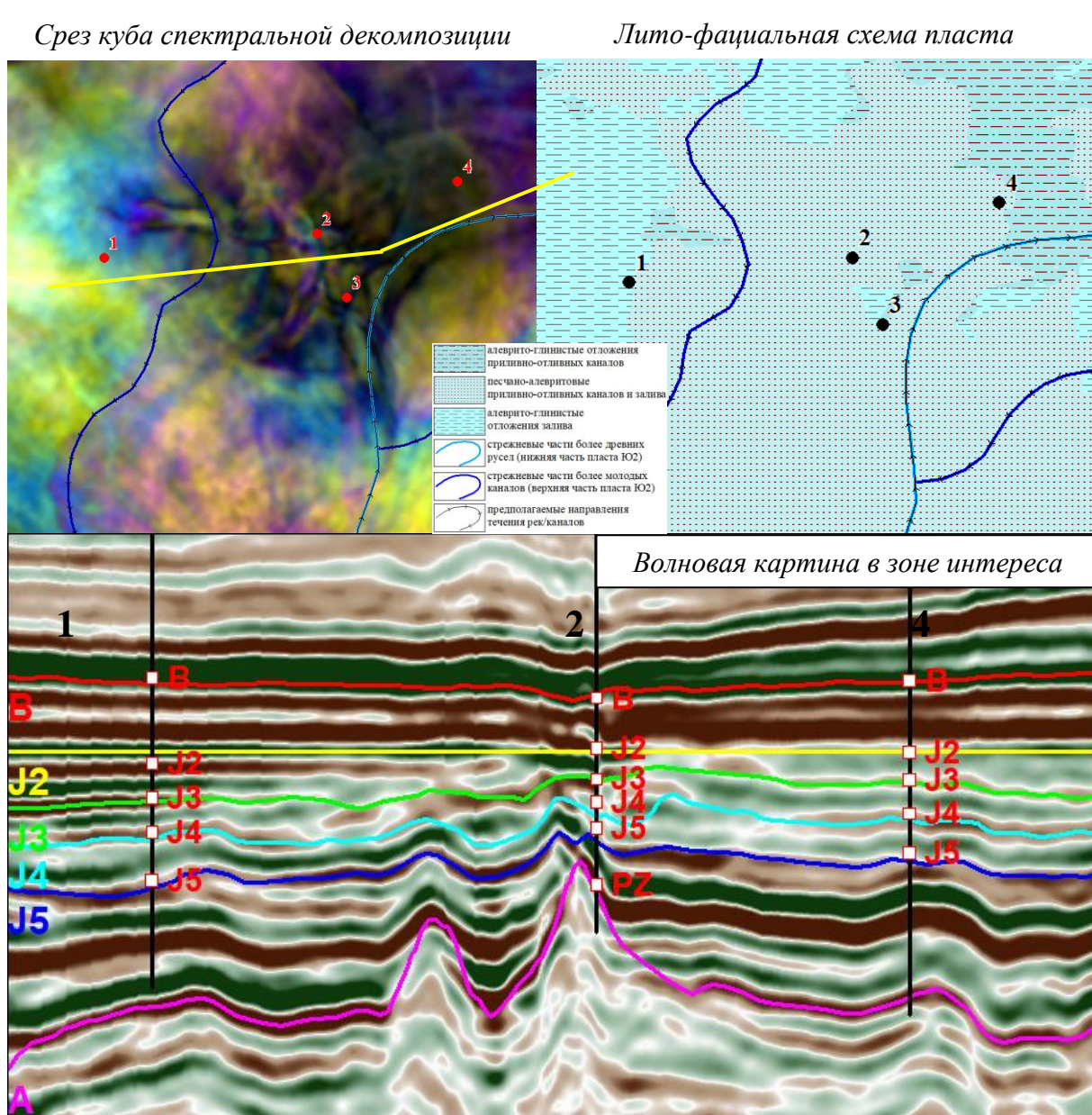


Рис. 1 Сейсмогеологическая характеристика пласта Ю₂

Анализ сейсмических материалов дает представление о сложности системы разломов, секущих отложения фундамента. Среднеюрская система разломов в основном унаследовала палеозойскую. Разница в том, что не все разломы секущие фундамент дотягиваются до отложений тюменской свиты, а те, что секут отложения последней, имеют меньшую амплитуду, чем по палеозою.

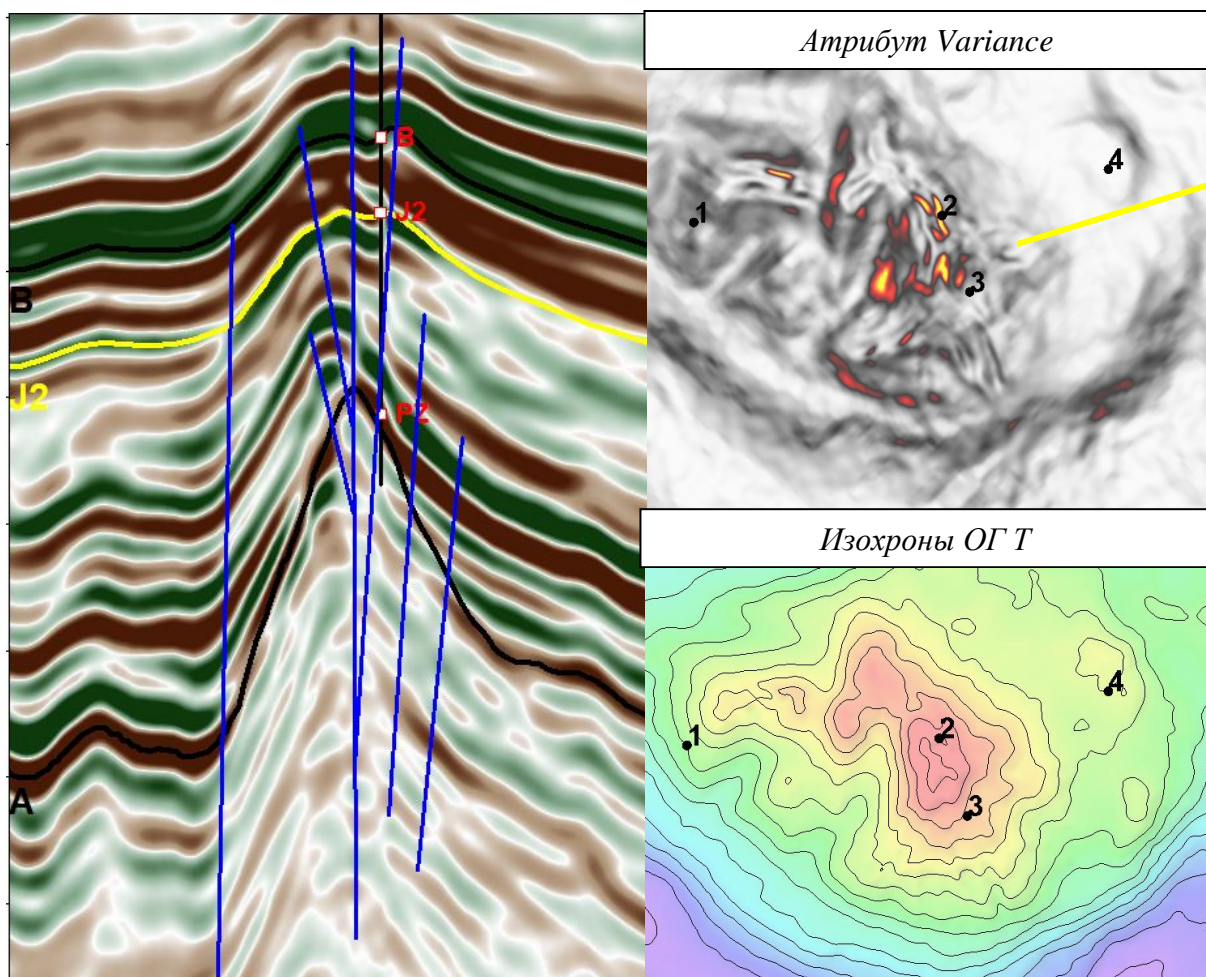


Рис. 2 Временной разрез с разломами

Как правило, в геологической модели сложное тектоническое строение реализовано не в полной мере. В модели используются только разломы, влияющие на строение залежи, а остальные тектонические элементы отсеиваются. Опыт бурения демонстрирует, что данных разломов недостаточно для успешного бурения горизонтальных стволов.

Анализ тектонических нарушений авторами проводится как до бурения скважин, так и в процессе. Анализ до бурения имеет расширенные возможности для оценки возможных рисков в сравнении с первичной интерпретацией. Например, особенности, имеющие признаки разрывных нарушений на временных разрезах, но не находящие отображения на срезах и картах атрибутов, как правило, отсеиваются как ложные аномалии и особенности, находящие отражение в плане в виде сильно искривленных

границ (структуроконтролирующие разломы), также подвергаются исключению, т.к. отображают больше резкие изменения структурного плана.

При планировании горизонтального ствола такие тектонические элементы все же выделяются и используются как потенциальные риски, чтобы иметь понимание, на каком этапе может возникнуть проблема.

На этапе проектирования плановых профилей ГС, с учетом проведенного анализа наличия разломной тектоники, формируется профиль, учитывающий все изменения структурного плана.

Примеры сейсмогеологического сопровождения бурения

Для повышения эффективности проходки горизонтального ствола, анализируя сейсмическую картину до бурения, мы видим, что проектная траектория находится в сводовой части небольшой структуры, которая осложнена тектоническими нарушениями. На разрезе через проектную скважину Пр_1, наблюдаются признаки тектонических нарушений на уровне ОГ А. Наибольшее смещение наблюдается в нижней части осадочной толщи, на кровле фундамента, при тенденции затухания разломов вверх по разрезу. Понятие о влиянии данных разломов на бурение скважины очень проблематично оценить только по данным сейсморазведки в районе горизонтального ствола, также нет точного понятия о глубине проникновения тектонических нарушений в юрские пласты, и тем более нет возможности оценить амплитуду данных разломов (Рис. 3).

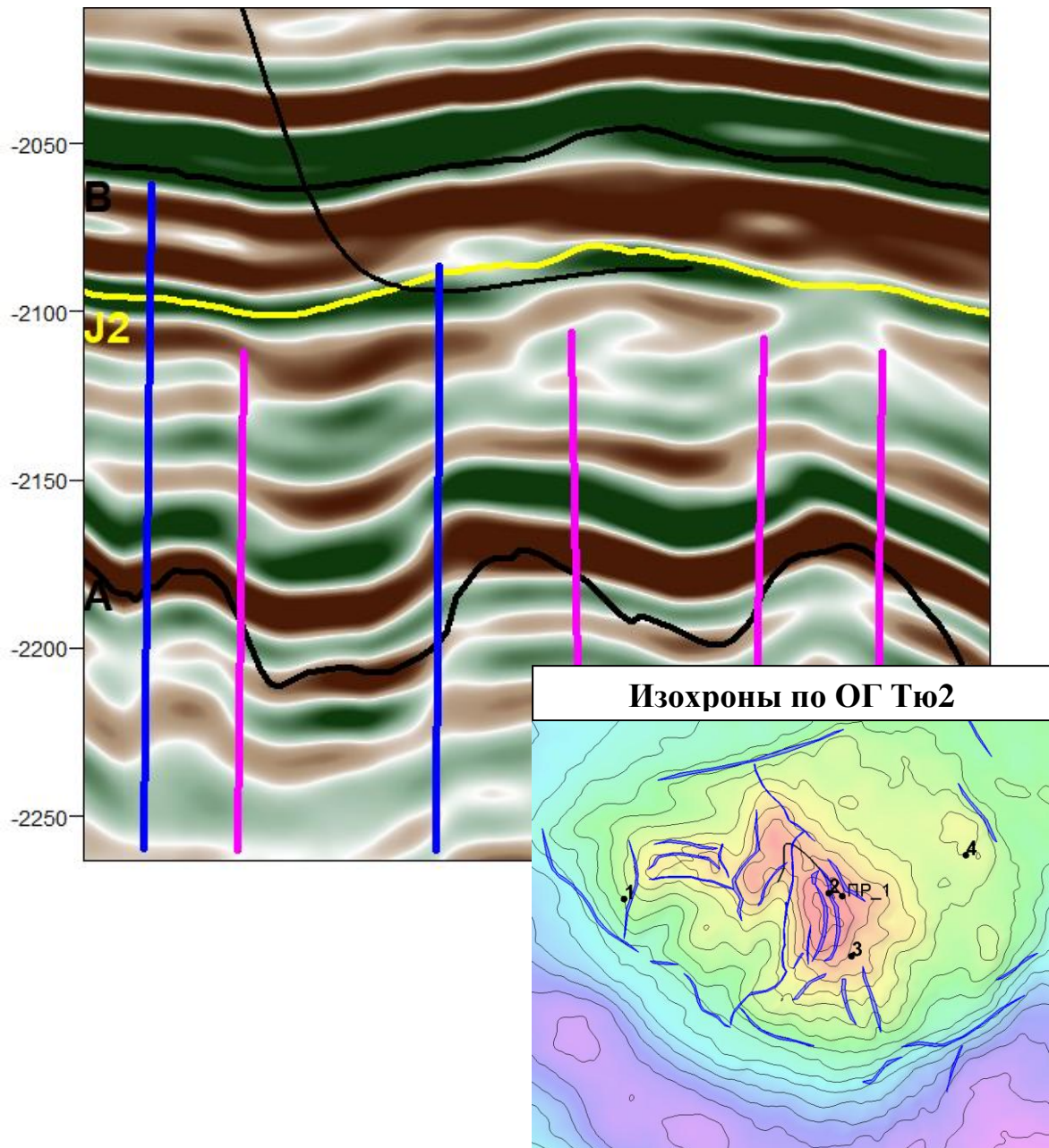


Рис. 3 Сейсмический анализ

Во время бурения горизонтальной части ствола скважины по кривым ГИС фиксируется вскрытие глинистых отложений, по показаниям имидж плотностного каротажа уверенно интерпретировать вылет в кровельную или подошвенную часть ЦИ нельзя (Рис. 4).

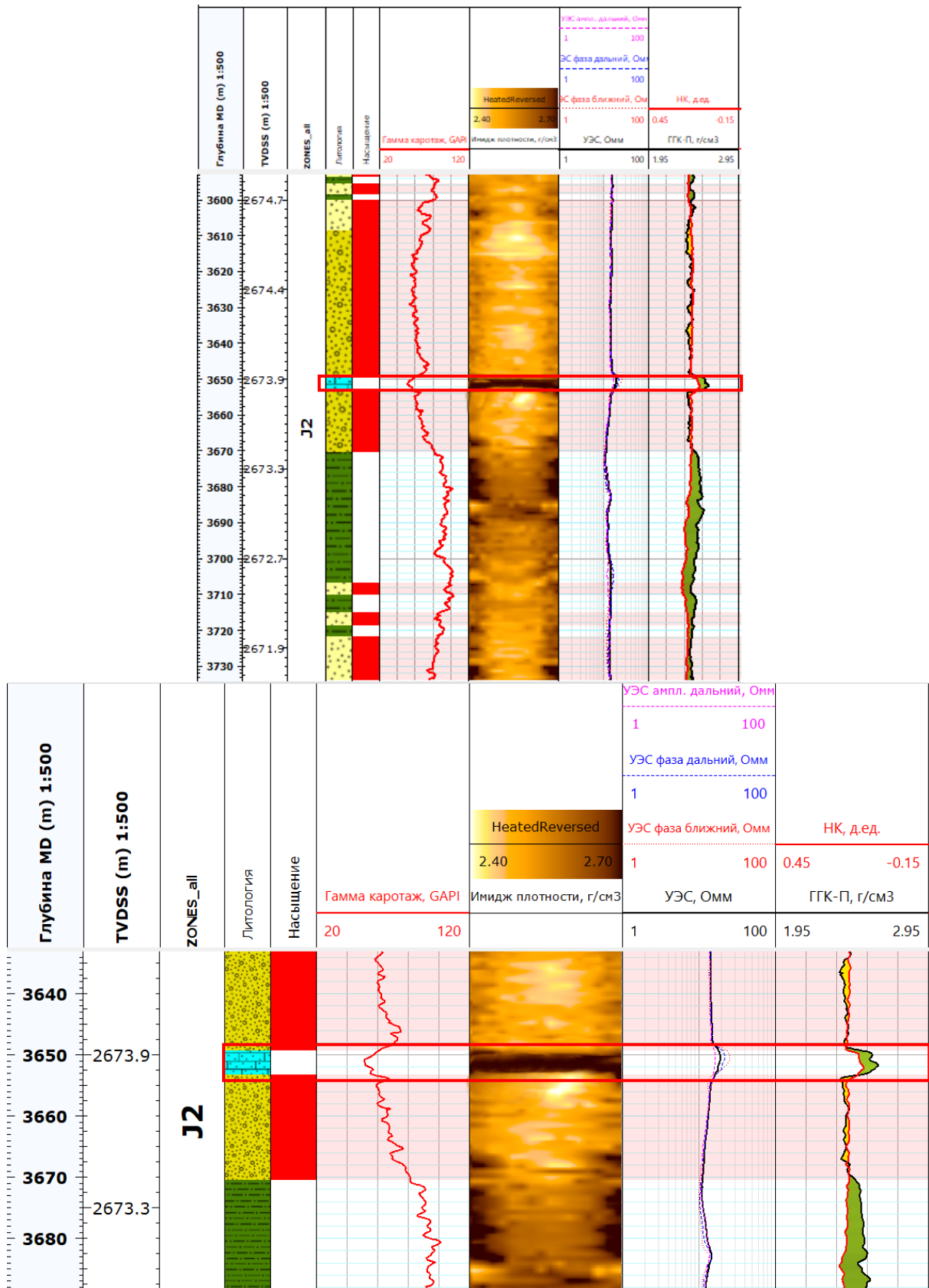


Рис. 4 Имидж во время бурения скв. Пр_1

Повторный анализ сейсмического разреза во время бурения позволил увеличить глубину проникновения разлома в осадочный чехол. Амплитуда разломов определялась исходя из величины наблюдаемого сдвига сейсмической фазы и интервальной скорости пластов юрской группы. Оперативно выполнена оценка амплитуды разлома, которая составила 6 метров. Данная информация учтена для оперативной корректировки угла бурения.

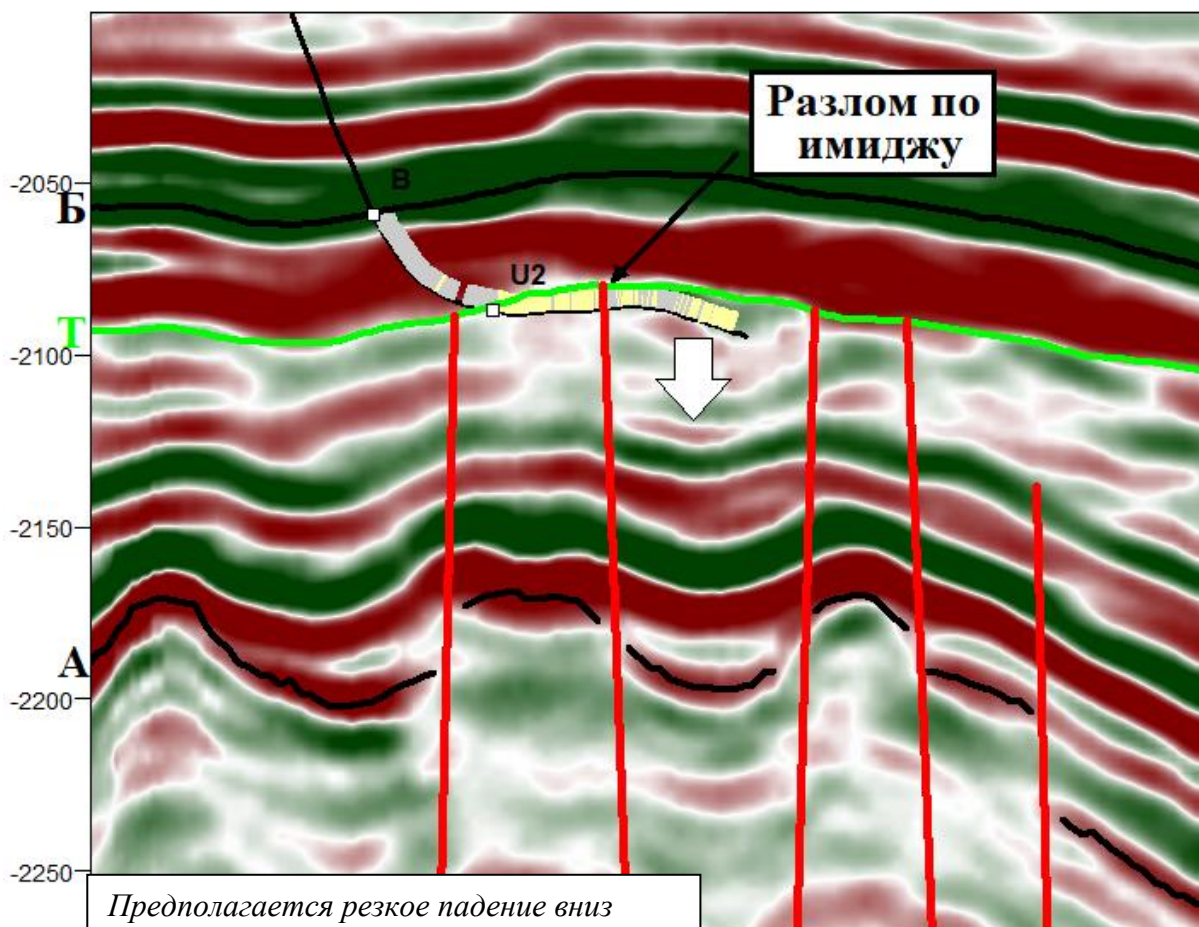


Рис. 5 Сква. Пр_1 на сейсмическом разрезе

С учетом анализа сейсмической картины в процессе бурения скважины, показаний имиджа и ГИСов, удалось верно определить пространственное положение ствола скважины в разрезе и принять правильное решение по дальнейшему направлению бурения (Рис. 6).

По результату бурения скважины в условиях, осложнённых тектоническими нарушениями, удалось сохранить эффективность проходки. Эффективность проходки составила 62%, при плановых 33%.

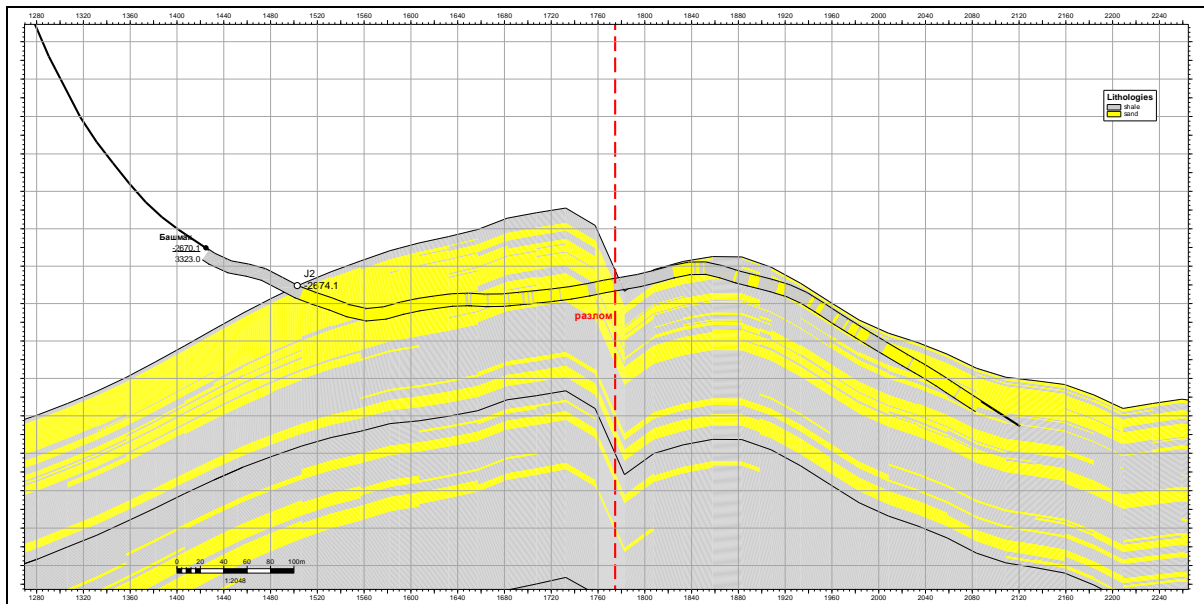


Рис. 6 Геологический разрез по скв. Пр_1

В процессе бурения скважины Пр_2 (Рис. 7) в районе точки Т3 был потерян коллектор. По результатам анализа сейсмических данных и имиджа (Рис. 8) был выделен разлом. Из-за технических проблем скважину пришлось перебурить.

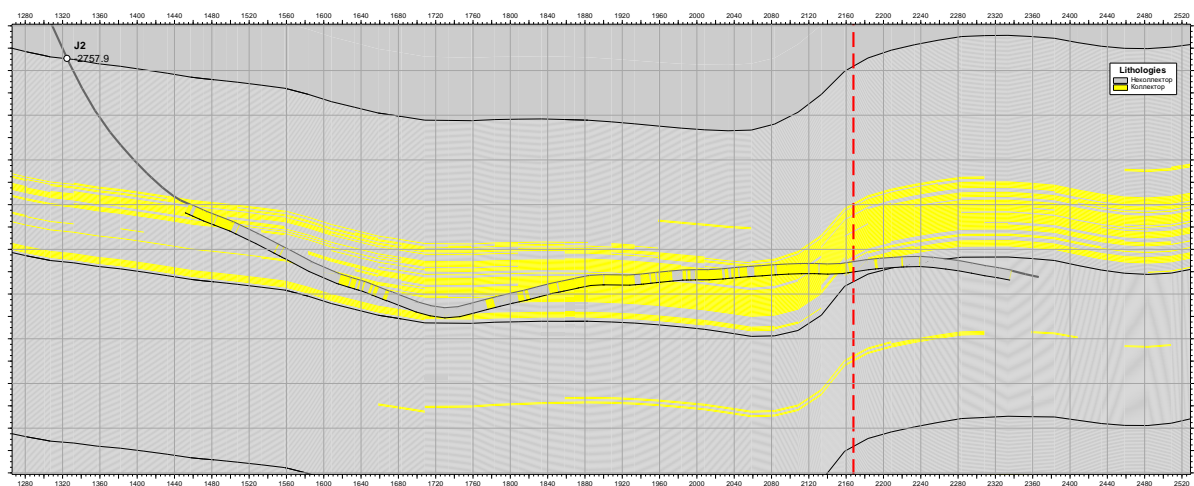


Рис. 7 Геологический разрез по скв. Пр_2

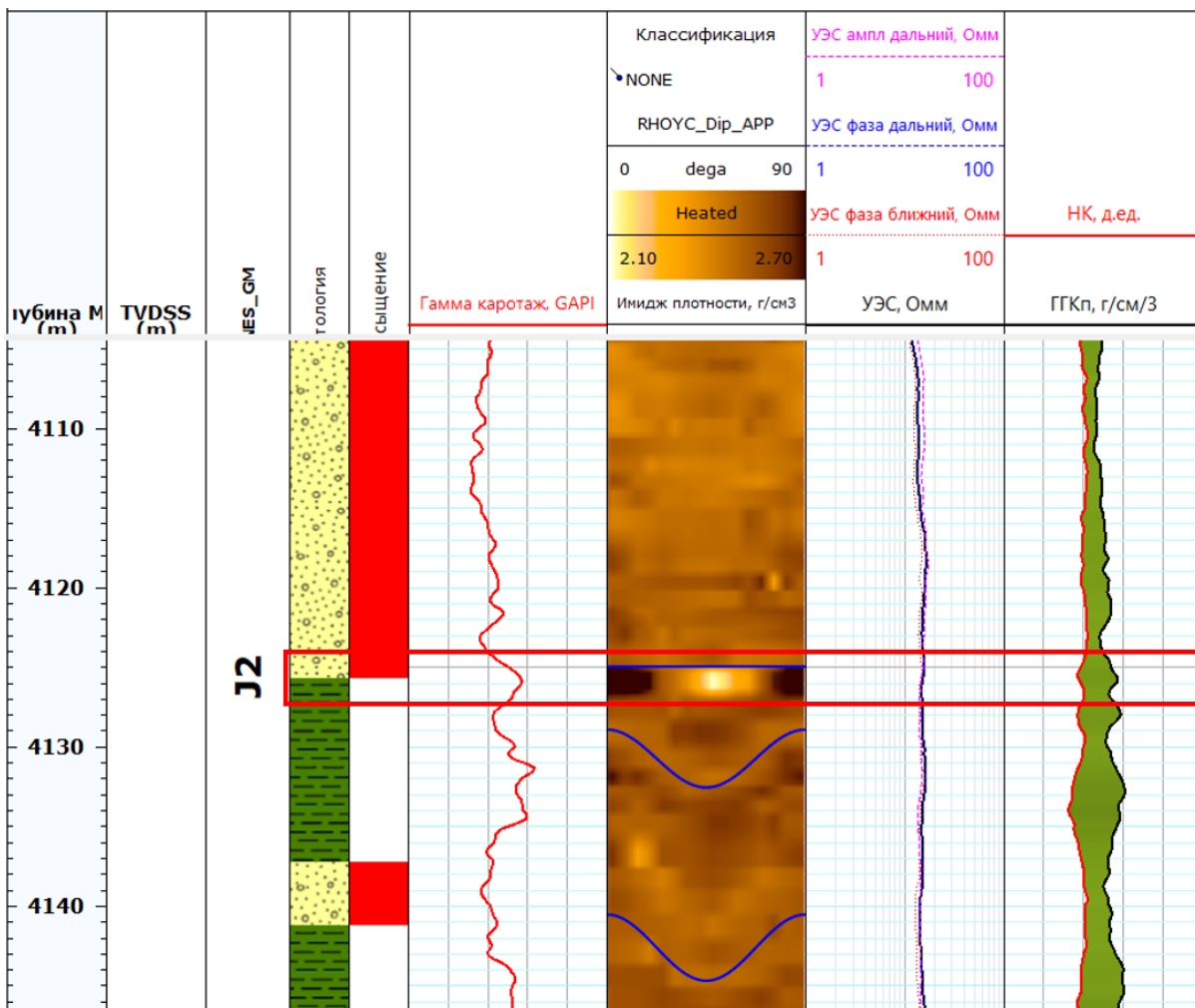


Рис. 8 Импедж во время бурения скв. Пр_2

Анализ, проведенный в процессе бурения первого ствола, позволил успешно провести второй ствол по коллектору (Рис.9-11).

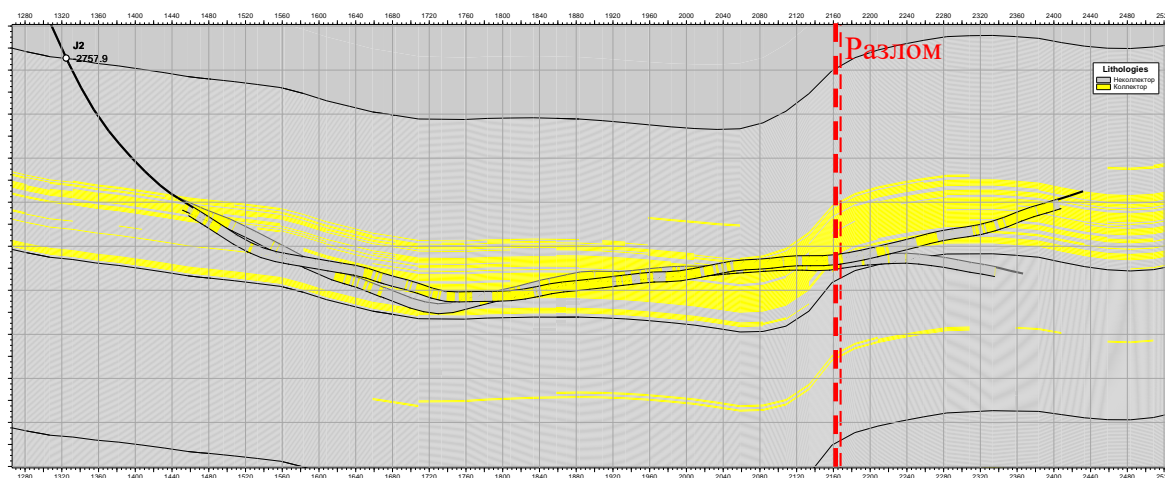


Рис.9 Перебур скважины Пр_2

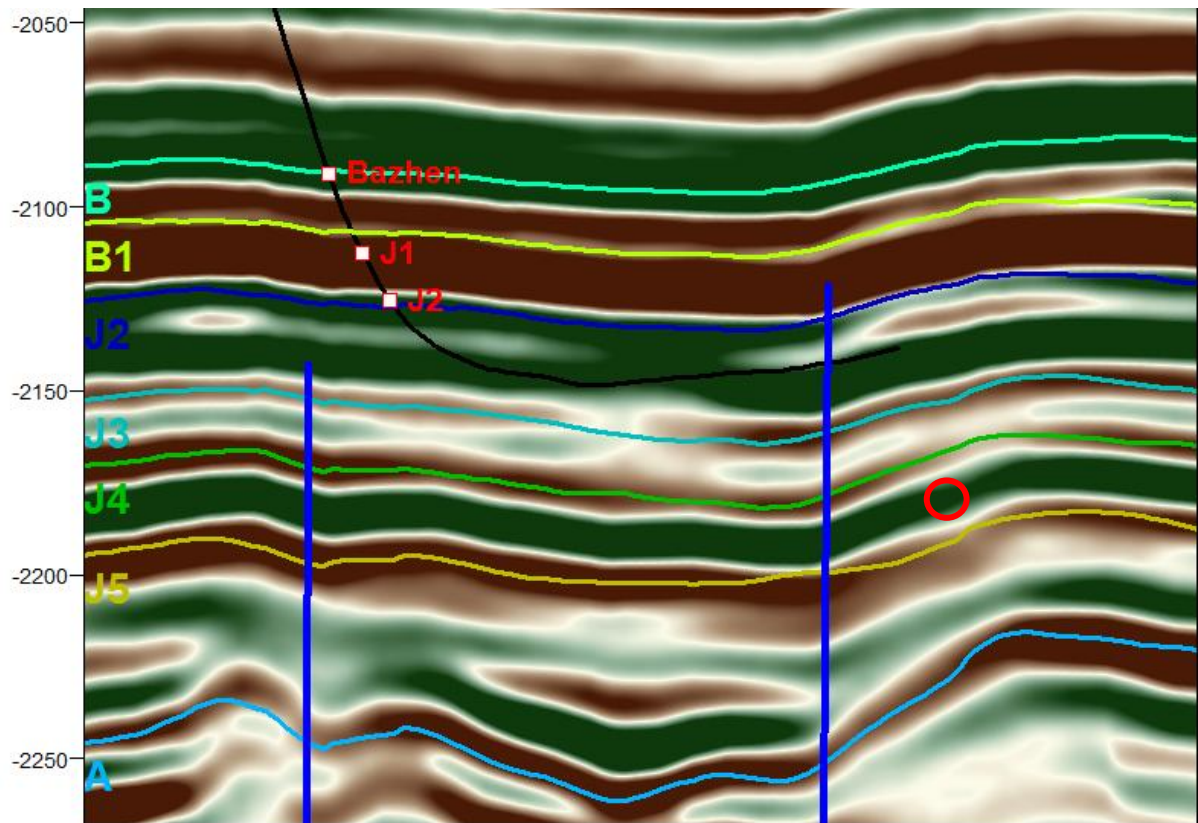


Рис.10 Перебур скважины Пр_2

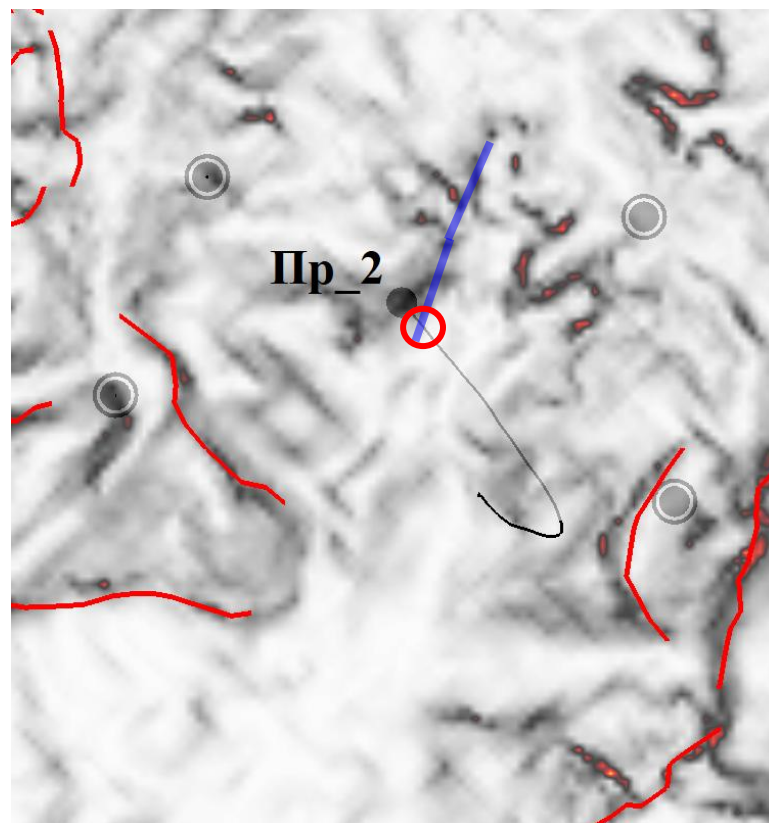


Рис. 11 Скважина Пр_2 на карте когерентности ОГ А

Учитывать заранее такие разломы в геологической модели смысла нет, так как даже единый разлом в основном является безамплитудным, и только на небольшом протяжении имеет критичный для бурения перепад глубин. На рис. 12 представлен пример по скважине Пр_3, в которой по сейсмическому анализу виделась вероятность резкого падения коллектора, но данный факт не подтвердился.

Подводя итоги, можно отметить важность оперативного сейсмогеологического анализа в процессе бурения горизонтальных стволов. Такой анализ в комплексе с данными кривых ГИС, имиджа (азимутального) плотностного каротажа, позволит принять верное решение в условиях оперативного сопровождения в районах, осложненных тектоническими явлениями.

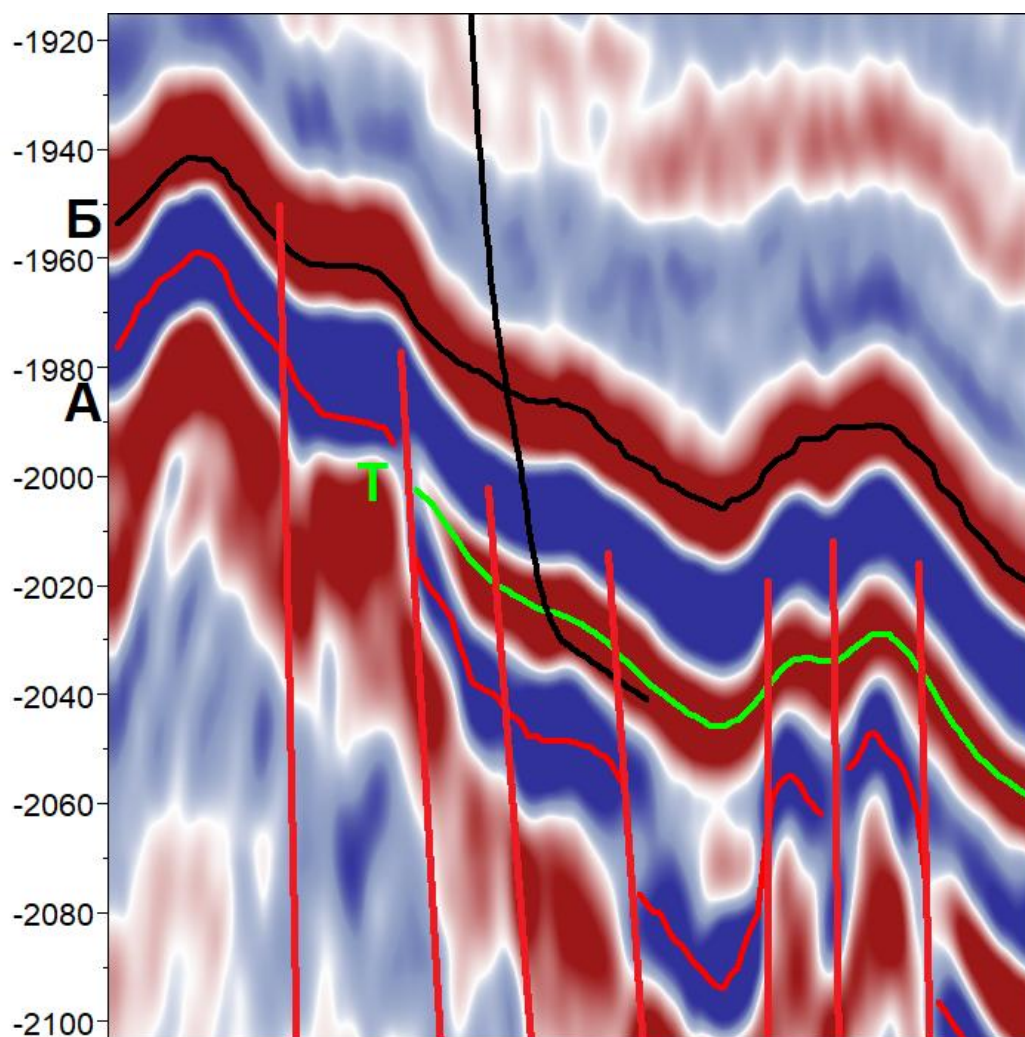


Рис. 12 Сейсмический разрез через скважину Пр_3

В ходе оперативного сопровождения бурения первым выполняется анализ всех возможных факторов, которые могут быть встречены при проведении горизонтального ствола. Специалистами выделяются все варианты тектонических нарушений и оперативно отслеживаются на всем протяжении бурения.

Заключение

При бурении горизонтальных/боковых стволов возникает множество рисков, влияющих на эффективность бурения и в ряде случаев техническую возможность завершения бурения, которые можно поделить на две группы: геологические и технические.

В работе рассмотрен один из рисков геологического характера, связанный с тектоническими нарушениями в пределах бурения ГС/ЗБС. Показаны примеры подходов к принятию решений во время проводки горизонтальных скважин в зависимости от ситуации и наличия той или иной информации.

Описанный подход позволяет в оперативном режиме принимать оптимальные решения, которые в итоге позволяют повысить успешность бурения.

В общем виде рекомендуется использовать комплексный подход при сопровождении бурения ГС/ЗБС с использованием структурных вариации, показаний кривых ГИС, имиджей, оперативного сейсмического анализа. Анализ этих данных позволит уменьшить риски, связанные с разломной тектоникой, неопределённостям углов залегания структуры и позволит выбрать правильный вариант бурения, что повысит эффективность проходки горизонтальных скважин.

Список литературы

1. Малышев Н.А., Никишин А.М., Геология для нефтяников, Ижевский институт компьютерных исследований, 2011 г.
2. Константинов К.В., Лапина Е.И., Пухарев В.А., Пути снижения рисков при бурении горизонтальных скважин, Нефтяная провинция, 3/2021 г.

References

1. Malyshev N.A., Nikishin A.M., Geology for oil workers, Izhevsk Institute of Computer Research, 2011. (in Russian)
2. Konstantinov K.V., Lapina E.I., Pukharev V.A., Ways to reduce risks when drilling horizontal wells, Oil Province, 3/2021. (in Russian)

Сведения об авторах

Константинов Константин Владимирович, начальник отдела, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
Россия, 625000, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1
E-mail: kvkonstantinov@tnnc.rosneft.ru

Лапина Екатерина Ивановна, руководитель группы, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
Россия, 625000, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1
E-mail: eilapina@tnnc.rosneft.ru

Радионов Андрей Николаевич, менеджер, ООО «Тюменский нефтяной научный центр»
Россия, 625000, Тюмень, ул. Осипенко, 79/1
E-mail: anradionov@tnnc.rosneft.ru

Authors

K.V. Konstantinov, Division head, Tyumen Oil Research Center LLC
79/1, Osipenko Str., Tyumen, 625000, Russian Federation
E-mail: kvkonstantinov@tnnc.rosneft.ru

Y.I. Lapina, Team Leader, Tyumen Oil Research Center LLC
79/1, Osipenko Str., Tyumen, 625000, Russian Federation
E-mail: eilapina@tnnc.rosneft.ru

A.N. Radionov, Manager, Tyumen Oil Research Center LLC
79/1, Osipenko Str., Tyumen, 625000, Russian Federation
E-mail: anradionov@tnnc.rosneft.ru

Статья поступила в редакцию 03.09.2024
Принята к публикации 21.03.2025
Опубликована 30.03.2025