



ВЫДЕЛЕНИЕ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ ПО ДАННЫМ ГЛУБИННОГО МНОГОПЛАСТОВОГО КАРТОГРАФА В ВЫСОКОМ РАЗРЕШЕНИИ

А.А. РАСКАЗОВ¹, Е.П. АГЕЕВА¹, П.В. БЫБИН^{2,*}

¹ ОАО «Ямал СПГ»

22, ул. Академика Пилюгина, г. Москва 117393, Россия

² ООО «Новатэк НТЦ»

7, ул. Пожарных и спасателей, г. Тюмень 625031, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Бурение горизонтальных скважин на юрские отложения на месторождениях ЯНО сопровождается пересечением разрывных нарушений [5]. В таких случаях стратегия проводки горизонтальной секции после вскрытия дизъюнктива строится на оценке стратиграфического положения ствола скважины и технологических возможностях по обеспечению выполнения геологических задач [7]. Традиционными методами по прогнозированию глубины пересечения разрывных нарушений являются данные сейсморазведки, а по определению во время бурения — данные каротажа. Однако существующие ограничения по глубине исследования данных каротажа делают задачу по идентификации разлома и определению стратиграфического положения ствола скважины после его пересечения довольно сложной. Следствием из этого является значительная трудность принятия решения по последующему маневру.

Цель. Показать, как специальные методы измерений в процессе бурения, такие как глубинные многопластовые картографы границ в высоком разрешении, дополняют существующие методики выделения разрывных нарушений [2].

Материалы и методы. Данная работа основана на фактических результатах бурения скважин на юрские пласты. В работе будут рассмотрены примеры, как использование картографов контрастных границ (по сопротивлению) помогает достичь поставленной цели по определению наличия разлома, стратиграфического положения ствола скважины либо наличия пропластков коллектора в радиусе исследования прибора на отложениях месторождения X.

Результаты. Применение технологии картирования контрастных по сопротивлению границ в условиях юрских отложений (благодаря разнице значений сопротивления в пропластках глин и пропластках коллектора (контраст сопротивлений [8])) значительно помогает, а часто в принципе позволяет определять положение ствола скважины в разрезе после пересечения дизъюнктивных нарушений, более уверенно проводить корреляцию и оптимизировать траекторию скважины для достижения поставленных перед бурением геологических целей.

Заключение. Сопоставление инверсии с другими методами каротажа показывает высокую степень достоверности получаемых в процессе бурения данных и их интерпретации (азимутальные имиджи в процессе бурения, сейсмоакустическое зондирование). Комплексирование нескольких подходов и разных типов измерений может принести еще больший вклад в изучаемый вопрос.

Ключевые слова: юрские отложения, разрывные нарушения, глубинная многопластовая инверсия высокого разрешения, картограф в высоком разрешении, геонавигация, бурение горизонтальных скважин, геоэлектрический разрез, азимутальное измерение УЭС.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки.

Благодарности: авторы выражают признательность экспертам по направлению геонавигации И.И. Евдокимовой, Д.С. Леонтьеву, М.Н. Медведеву, И.К. Дударевой, Д.Н. Засименко за поддержку и ценные советы по подготовке статьи.

Для цитирования: Рассказов А.А., Агеева Е.П., Быбин П.В. Выделение разрывных нарушений по данным глубинного многопластового картографа в высоком разрешении. *Известия высших учебных заведений. Геология и разведка*. 2025;67(3):150—157. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-3-150-157> EDN: [SHFVVO](https://www.edn.org/SHFVVO)

Статья поступила в редакцию 13.08.2025

Принята к публикации 24.09.2025

Опубликована 30.09.2025

* Автор, ответственный за переписку

FAULTS IDENTIFICATION BASED ON HIGH-RESOLUTION MULTILAYER MAPPING WHILE DRILLING SERVICE

ANATOLIY A. RASSKAZOV¹, EKATERINA P. AGEEVA¹, PETR V. BYBIN^{2,*}

¹ JSC Yamal LNG

22, Academician Pilyugin str., Moscow 117393, Russia

² NOVATEK STC

7, Pozharnykh i spasateley str., Tyumen 625031, Russia

ABSTRACT

Background. Drilling horizontal wells into Jurassic formations in Yamal-Nenets Autonomous Okrug (YNAO) fields involves faults intersection [5]. In such cases, horizontal section geosteering strategy after crossing a fault is based on an assessment of the wellbore's stratigraphic position and the technical capabilities available to ensure the geological objectives achievement [7]. Traditional methods for predicting faults intersection depth are rely on seismic data, while identification during drilling is based on logging data. The existing logging data depth of investigation limitations makes the task of identifying a fault and determining the wellbore's stratigraphic position after crossing it quite complicated. As a result, decision on the subsequent steering maneuver presents significant uncertainty.

Aim. Estimate how advanced logging while drilling methods such as high-resolution multilayer mapping while drilling service complement existing fault identification techniques [2].

Materials and methods. This study based on actual drilling data from Jurassic reservoirs. It will demonstrate examples of how using deep boundary mapping tools (resistivity-based) helps to achieve the objective of identifying faults, determining the wellbore's stratigraphic position and detecting reservoir thin sublayers within the tool's depth of investigation in the formations of the X field.

Results. The application of deep resistivity boundary mapping technology in Jurassic formations (enabled by the resistivity contrast between shale and reservoir layers [8]) significantly enhances, and often makes fundamentally possible, the determination of the wellbore's position within the stratigraphic section after crossing faults. This enables more confident stratigraphic correlation and allows for trajectory optimization to achieve the pre-defined geological objectives.

Conclusion. Comparison of the resistivity inversion with other logging methods demonstrates a high degree of reliability in the data acquired while drilling and its interpretation (azimuthal imaging while drilling, borehole acoustic reflection survey). Combination of multiple approaches and different measurement types can provide even greater insight into the subject of study.

Keywords: Jurassic formation, faults, high-resolution multilayer mapping inversion, high-resolution multilayer mapping while drilling service, geosteering, horizontal well drilling, geoelectrical cross-section, azimuthal resistivity.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Financial disclosure: no financial support was provided for this study.

Acknowledgements: authors are grateful to the experts in the field of geonavigation I.I. Evdokimova, D.S. Leontiev, M.N. Medvedev, I.K. Dudareva, D.N. Zasimenko for their support and valuable advice on the preparation of the article.

For citation: Rasskazov A.A, Ageeva E.P., Bybin P.V. Faults identification based on high-resolution multilayer mapping while drilling service. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2025;67(3):150—157. <https://doi.org/10.32454/0016-7762-2025-67-3-150-157> EDN: SHFWVO

Manuscript received 13 August 2025

Accepted 24 September 2025

Published 30 September 2025

* Corresponding author

Введение

Месторождение X — газоконденсатное месторождение. Разработка юрских залежей ведется с 2020 г.

По мере освоения валанжинских запасов углеводородов встал вопрос о восполнении ресурсной базы путем разработки среднеюрских отложений [4]. Малышевская свита представлена переслаиванием песчаников, алевролитов и песчаных аргиллитов. Породы характеризуются глубинами залегания свыше 3400 м. Особенностью строения среднеюрских залежей является наличие сети разрывных нарушений, которые увеличивают риск невыполнения геологических задач при разбуривании запасов горизонтальными скважинами.

Проблема изучения разрывных нарушений связана с их влиянием на строение залежей углеводородов и разработку месторождений. Эти нарушения могут разделять залежи на отдельные блоки, влиять на фильтрационные свойства пород и характер их насыщения [1]. В связи с этим несоответствие между реальным геологическим строением и представлением о структуре залежи увеличивается. Прогнозирование наличия и величины смещения разрывных нарушений является важной задачей, позволяющей снижать геологические неопределенности при бурении горизонтальных скважин.

Цель

Традиционными методами по прогнозированию глубины разрывных нарушений являются методы сейсморазведки. Сложность изучения разломов обусловлена в том числе тем, что часто встречаются малоамплитудные дизъюнктивы или разрывные нарушения без значительного

вертикального смещения блоков [1], что затрудняет их выделение по сейсмическим данным. Задачу по их определению (в зоне чувствительности прибора) во время бурения помогает решить глубинный картограф границ в высоком разрешении [8]. Технические возможности картографа: глубина исследования до 7,6 м, разрешающая способность до 30 см, позволяет картировать изменения залегания в зоне чувствительности прибора [6].

Применение технологии на практике

Традиционный подход определения пересечения разрывного нарушения заключается в выявлении резкого изменения показаний в большинстве имеющихся каротажных данных в процессе бурения на одной глубине, а также характерным резким переходом из одних свойств к другим на имидже при отсутствии «улыбок» — признаков плавного перехода. Важно проводить комплексный анализ одновременно по нескольким геофизическим методам [7].

Выделение разлома по стандартному набору каротажей не всегда может быть достоверным. В примере (рис. 1а) по каротажу можно предположить выделение нескольких разломов, но данные глубинного многопластового картографа границ в высоком разрешении не подтверждают такую интерпретацию. Направленные электромагнитные измерения не демонстрируют скачкообразного изменения, а многопластовая инверсия в высоком разрешении определяет конформное пересечение контрастной границы кровли песчаника сверху.

В следующем примере (рис. 1б) согласно данным ГИС в реальном времени не наблюдалось однозначных признаков пересечения разрывного нарушения. За счет применения технологии глубинного

Выделение разрывных нарушений по данным глубинного многопластового картографа в высоком...

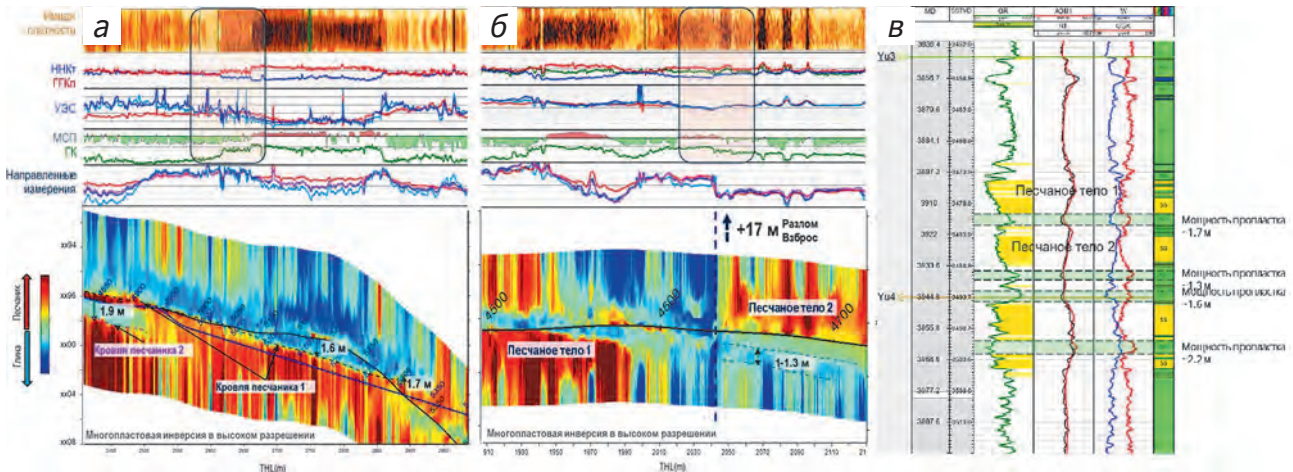


Рис. 1. Примеры картирования пересечения разрывного нарушения. В увеличенном масштабе показаны: а — пример неподтверждения разлома с вертикальным смещением, скв. X1; б — пример идентификации разлома на основании данных глубинного многопластового картографа границ в высоком разрешении, скв. X2; в — планшет опорной скважины, которая использовалась для корреляции

Fig. 1. Examples of mapping the intersection of a discontinuous fault. The enlarged scale shows: a — An example of unconfirmed fault with vertical displacement, X1 well; б — An example of fault identification based on data from a deep multi-layer boundary map in high resolution, X2 well; в — offset well, used for correlation

картирования и по данным межскважинной корреляции определен взброс со смещением восточного блока на 17 м по вертикали в направлении бурения. Оценка амплитуды смещения блоков, превышающих глубину исследования методов каротажа в процессе бурения, возможна при следующих благоприятных условиях: 1) фиксирование контрастных по сопротивлению границ после пересечения плоскости сместителя; 2) возможность оценки мощности картируемых слоев (целевых песчаников, глинистых перемычек); 3) корреляция картируемых прослоев картографом границ с таковыми в ранее пробуренном интервале или в опорных скважинах. В данном примере вскрыто песчаное высокоомное тело 1, мощность которого составила ~4,2 м по вертикали, после разрывного нарушения ствол скважины снова оказался в песчанике, по данным картографа мощность вскрытого после разлома песчаного тела составила ~3,5 м по вертикали. Дополнительно ниже была закартирована низкоомная перемычка мощностью ~1—1,3 м по вертикали, под которой фиксировалась контрастная граница с небольшим повышением УЭС (удельного электрического сопротивления) до 12 Ом·м, при этом согласно корреляции такой контраст возможен в подошвенной части песчаного тела 2, а не песчаного тела 1 (рис. 1в), где контрастная по УЭС граница имеет УЭС 25 Ом·м, что позволило определить положение ствола в подошвенной части песчаного тела 2, а не песчаного тела 1. Таким образом,

вертикальное смещение блока оценено в 17 м по вертикали по методу сравнения мощностей, полученных с мультипластового картографа границ в высоком разрешении с мощностями в опорной скважине.

Неопределенность глубины пересечения разлома и вертикального смещения также вносит дополнительные сложности в проводку горизонтальных стволов. В следующем примере (рис. 2) реконструирована предварительная модель и проведено сравнение с результатами бурения горизонтальной секции. При комплексном анализе многопластовой инверсии высокого разрешения и каротажа в процессе бурения удалось выявить и оценить два разрывных нарушения и амплитуды их смещений. Несмотря на неопределенность амплитуд смещения и глубины пересечения разломов, которые не подтвердились по начальным сейсмическим данным, стратегия геонавигации и технологии картирования помогли выполнить поставленные геологические задачи.

На примере скважины X4 по первоначальной модели и данным сейсморазведки прогнозировалось два разрывных нарушения с амплитудами смещения в 30—40 м по вертикали (рис. 36).

По результатам бурения горизонтальной секции было определено пересечение пяти разрывных нарушений. Благодаря комплексному анализу данных ГИС в процессе бурения и глубинной инверсии высокого разрешения подтвердился прогноз положения крупноамплитудных разломов.

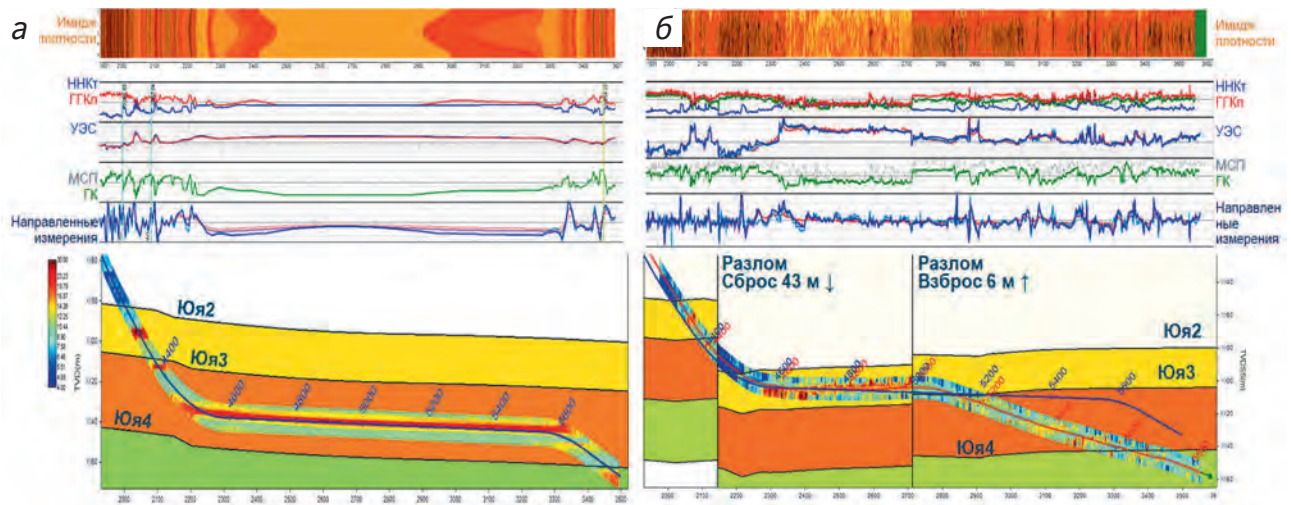


Рис. 2. Разрывные нарушения в интервале горизонтальных секций, скв. X3: а — предварительное моделирование; б — многослойная инверсия в высоком разрешении
 Fig. 2. Discontinuous faults in the horizontal sections, X3 well: a — initial simulation; б — detailed multilayer inversion

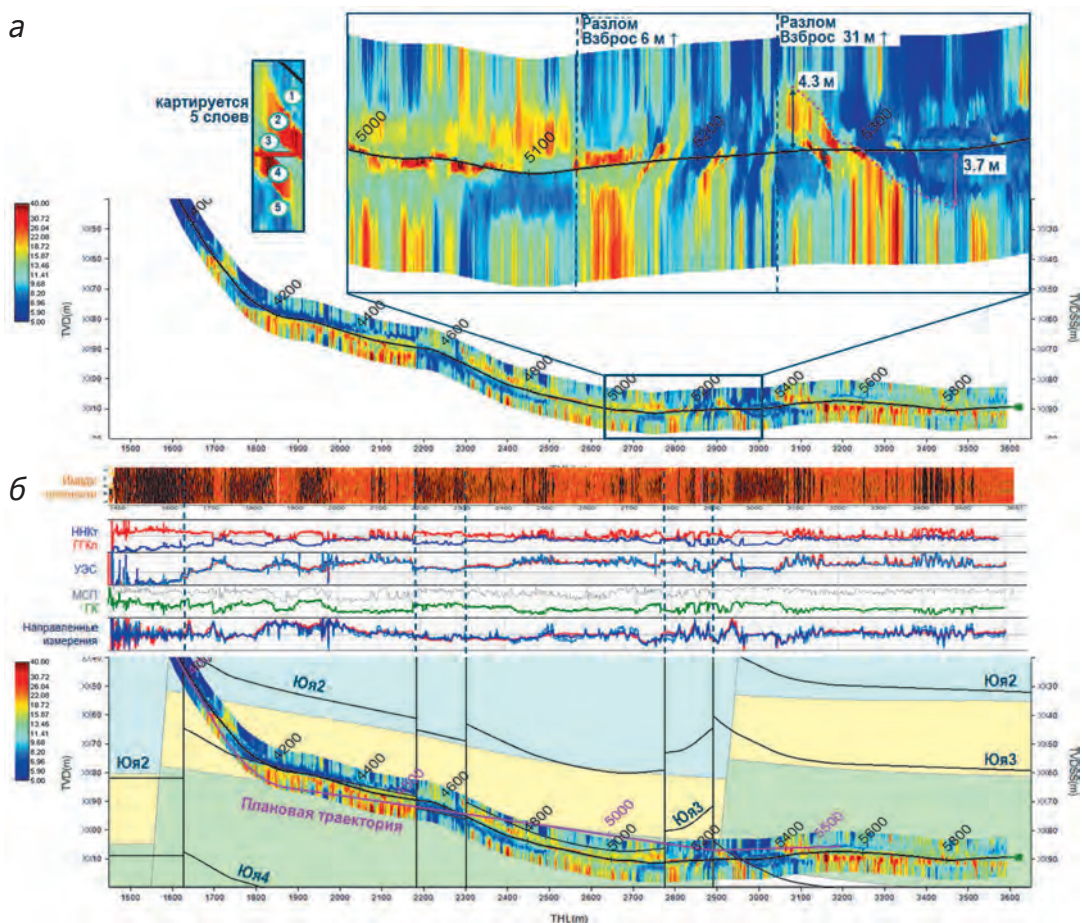


Рис. 3. Примеры: а — идентификации разлома на основании данных глубинного многослойного картографатора границ в высоком разрешении, скв. X4; б — сравнения данных глубинного многослойного картографатора границ с первоначальными поверхностями в условиях пересечения разломов, скв. X4
 Fig. 3. An example: а — of fault identification using data from a high-resolution, multi-layer deep boundary mapper, X4 well; б — is the comparison of data from the boundary mapper with the original surface in the area of fault intersection, also X4 well

А также были зарегистрированы три малоамплитудных разрывных нарушения. Встреченные малоамплитудные разрывные нарушения не были спрогнозированными, и без определения положения ствола скважины после их пересечения эффективность проходки по коллектору могла быть снижена.

При более детальном рассмотрении данного примера по данным глубинной инверсии максимальная дальность картирования границ составила 4,3 м по вертикали и одновременно регистрировалось пять прослоев (рис. 3а). Оценка углов структурного залегания по данным многопластовой инверсии высокого разрешения косвенно подтвердила пересечение разрывных нарушений. Регистрировалось резкое изменение структуры — рост сменился падением в азимуте бурения скважины. Такое поведение характерно для зон смятия и является индикатором бурения в зонах повышенной тектонической активности.

На основании данных инверсии была обновлена геологическая модель и проведено сравнение с первоначальными данными. Результаты реконструкции представлены на рисунке 3. Применение технологии картирования

в процессе бурения помогло определить положение ствола скважины в разрезе после пересечения разломов, уверенно проводить корреляцию и оптимизировать траекторию.

Оценка возможной потери эффективной длины горизонтальной секции (рис. 4) при бурении с пересечением разрывных нарушений без глубинной многопластовой инверсии в высоком разрешении показала возможное снижение эффективной проходки на 160—210 м.

В результате проактивной геонавигации, базирующейся на передовой технологии картирования в реальном времени, стало возможным оперативно оптимизировать траекторию [3] при пересечении разломов и сокращать интервалы вскрытия непродуктивных пород.

Заключение

В данной работе рассмотрено применение технологии многопластового картирования разреза в высоком разрешении на скважинах, пробуренных в среднеюрских терригенных отложениях (пласты ЮЯ2—ЮЯ4) месторождения X.

Применение технологии картирования в контрастных по сопротивлению юрских

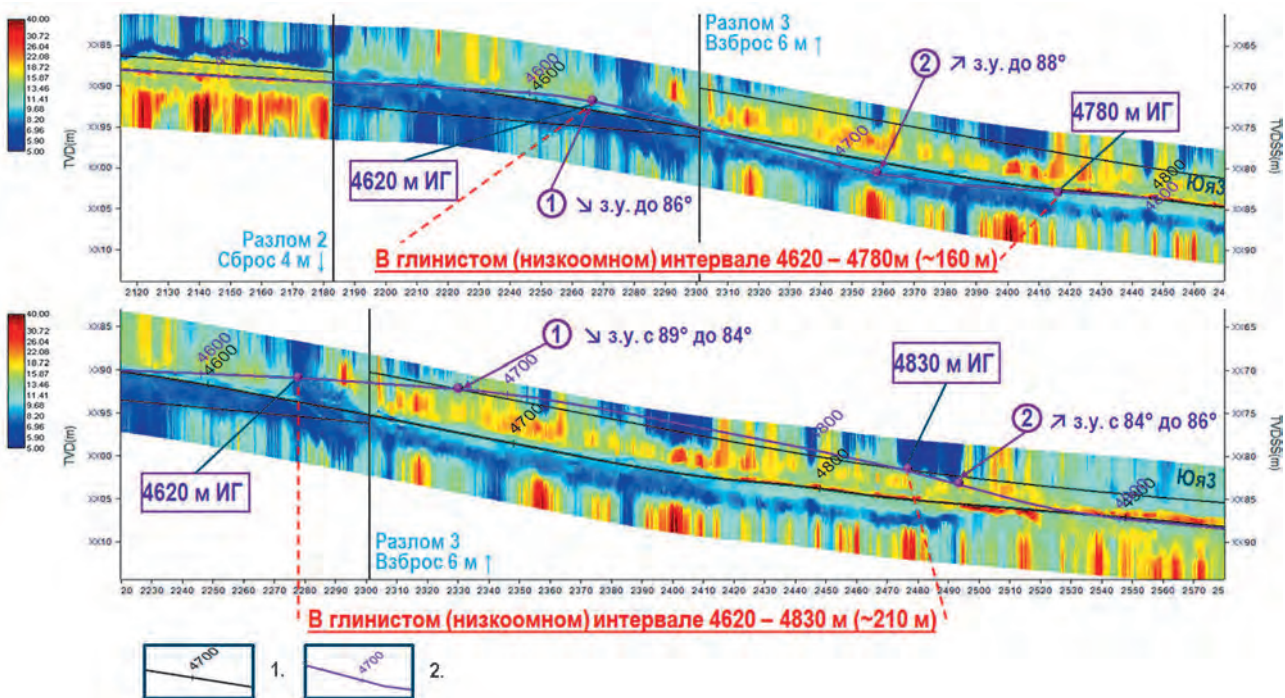


Рис. 4. Возможные сценарии бурения с пересечением разрывных нарушений без применения глубинного картографа границ в высоком разрешении: 1 — фактическая траектория; 2 — возможный сценарий бурения без PeriScope Edge

Fig. 4. Possible drilling scenarios involving the intersection of discontinuous faults, without the use of a high-resolution deep boundary mapper: 1 — actual trajectory; 2 — possible drilling scenario without PeriScope Edge

отложениях позволило не только увеличить эффективность проводки горизонтальной секции, но и определять положение ствола скважины в разрезе после пересечения разрывных нарушений, проводить корреляцию и оптимизировать траекторию скважины для достижения

поставленных перед бурением геологических целей. Комплексирование с другими методами ГИС подтверждают результаты интерпретации многопластовой инверсии в высоком разрешении и открывает дополнительные возможности для обновления геологических моделей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Елишева О.В., Мельникова М.Н., Шангина В.В., Леонов А.П. Влияние разрывных нарушений в юрской части разреза на строение резервуара Урненской нефтяной залежи васюганской свиты месторождения им. Малыка. Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2022. № 4(154). С. 25—40. DOI 10.31660/0445-0108-2022-4-25-40. EDN SUUZYD.
2. Официальный сайт компании «Шлюмберже», Онлайн-конференция «Время возможностей», 2021, доступен по ссылке: <https://www.slb.ru/burenie-2021/index.php> (дата обращения: 14.10.2025).
3. Рассказов А.А., Агеева Е.П., Быбин П.В., Евдокимова И.И., Медведев М.Н., Дударева И.К., Леонтьев Д.С. Оптимизация бурения и снижение неопределенностей в юрских отложениях Южно-Тамбейского месторождения с использованием технологии многопластового картирования разреза в высоком разрешении. Горизонтальные скважины 2024: Сборник материалов 6-ой научно-практической конференции, Казань, 13—16 мая 2024 года. Москва: ООО «Геомодель Развитие», 2024. С. 87—90. EDN BFNKOJ.
4. Рассказов А.А., Гутман И.С., Потемкин Г.Н. Особенности освоения среднеюрских газоносных отложений Ямало-Гыданской нефтегазоносной области: необходимость применения многостадийного гидроразрыва и проблемы категоризации запасов углеводородов. Недропользование XXI век. 2020. № 5(88). С. 34—40. EDN EOMSQG.
5. Skorobogatov V.A., Stroganov L.V., Kopeev V.D. Геологическое строение и газонефтеносность Ямала. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. 352 с.
6. Шарифуллин И.Ф., Нагорная И.А., Габбасов Д.М., Антипов С.М., Леонтьев Д.С., Евдокимова И.И., Селиванов Ю.А. Первое применение технологии многопластового картирования высокого разрешения при бурении на газовом проекте Семаковского месторождения. Бурение и нефть. 2022. № 4. С. 22—25. EDN RGOKPK.
7. Griffiths R. Well placement fundamentals. Schlumberger, 2009. 229 p.
8. Sun K., Thiel M., Mirto E., et al. New Generation of Ultra-High-Definition Directional Propagation Resistivity for Real Time Reservoir Characterization and Geosteering-While-Drilling. SPE-204739-MS.

REFERENCES

1. Elisheva O.V., Melnikova M.N., Shangina V.V., Leonov A.P. Influence of discontinuous faults in the Jurassic part of the section on the structure of the Urna oil reservoir in the Vasyugan formation of Malyka field. News from Higher Education Institutions. Oil and Gas. 2022. №4(154). pp. 25—40. DOI 10.31660/0445-0108-2022-4-25-40. EDN SUUZYD. (In Russ.).
2. Schlumberger official website, on-line conference on-line conference “Time of opportunities”, 2021, available from <https://www.slb.ru/burenie-2021/index.php> (last accessed 14.10.2025).
3. Rasskazov A.A., Ageeva E.P., Bybin P.V., Evdokimova I.I., Medvedev M.N., Dudareva I.K., Leontiev D.S. Optimization of drilling and reduction of uncertainties in the Jurassic sediments of the Yuzhno-Tambeyskoye field using high-resolution multilayer section mapping technology. Horizontal wells 2024: Proceedings of the 6th Scientific and Practical Conference, Kazan, May 13—16, 2024. — Moscow: Geomodel Razvitie LLC, 2024. pp. 87—90. — EDN BFNKOJ (In Russ.).
4. Rasskazov A.A., Gutman I.S., Petemkin G.N. Features of the development of Middle Jurassic gas-bearing deposits of the Yamalo-Gydan oil and gas region: the need to use multi-stage hydraulic fracturing and problems of categorization of hydrocarbon reserves. Subsoil use XXI century. 2020. № 5(88). pp. 34—40. EDN EOMSQG. (In Russ.).
5. Skorobogatov V.A., Stroganov L.V., Kopeyev V.D. Geologicheskoe stroenie i gazoneftenosnost' YAmala — [Geological structure and gas-oil-bearing capacity of Yamal]. Moscow: Nedra-Bisnestsentr. 2003. 352 p. (In Russ.).
6. Sharifullin I.F., Nagornaya I.A., Gabbasov D.M., Antipov S.M., Leontiev D.S., Evdokimova I.I., Selivanov Yu.A. First application of high-resolution multilayer mapping technology in drilling at the Semakovskoye gas project. Burenie and Neft. 2022. №4. pp. 22—25. EDN RGOKPK. (In Russ.).
7. Griffiths R. Well placement fundamentals. Schlumberger, 2009. 229 p.
8. Sun K., Thiel M., Mirto E., et al. New Generation of Ultra-High-Definition Directional Propagation Resistivity for Real Time Reservoir Characterization and Geosteering-While-Drilling. SPE-204739-MS.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Рассказов А.А. — принял участие подготовке материалов в процессе планирования работ, анализе полученных данных с картографа и принятии решений при выполнении работ, принял окончательное заключение для внедрения в полномасштабную модель, принял участие в редактировании разделов и заключения данной статьи, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Агеева Е.П. — приняла участие в подготовке материалов в процессе планирования работ, анализе полученных данных с картографа и принятии решений при выполнении работ, приняла окончательное заключение для внедрения в полномасштабную модель, приняла участие в редактировании разделов и заключения, окончательно утвердила публикуемую версию статьи и согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Быбин П.В. — принял участие в подготовке материалов в процессе планирования работ, анализе полученных данных с картографа и принятии решений при выполнении работ, принял участие в редактировании разделов и заключения, окончательно утвердил публикуемую версию статьи и согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Anatoliy A. Rasskazov — took part in the preparation of materials during the planning process, analysis of data obtained from the cartographer, and decision-making during the execution of the work. He made the final decision for implementation in the full-scale model, participated in editing sections and the conclusion of this article, has given final approval to the published version of the article, and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Ekaterina P. Ageeva — took in the preparation of materials during the planning process, analysis of data obtained from the cartographer, and decision-making during the execution of the work. She made the final decision for implementation in the full-scale model, participated in editing sections and the conclusion, has given final approval to the published version of the article, and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

Petr V. Bybin — took part in the preparation of materials during the planning process, analysis of data obtained from the cartographer, and decision-making during the execution of the work. He participated in editing sections and the conclusion, has given final approval to the published version of the article, and agrees to accept responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Рассказов Анатолий Александрович — заместитель начальника управления геологии ОАО «Ямал СПГ».
22, ул. Академика Пилюгина, г. Москва 117393, Россия
e-mail: a.rasskazov@yamalspg.ru

Агеева Екатерина Павловна — начальник отдела геонавигации ОАО «Ямал СПГ».
22, ул. Академика Пилюгина, г. Москва 117393, Россия
тел.: +7 (495) 228-98-50 вн. 13-594
e-mail: e.ageeva@yamalspg.ru

Быбин Петр Валерьевич* — начальник управления геонавигации ООО «Новатэк НТЦ».
7, ул. Пожарных и спасателей, г. Тюмень 625031, Россия
тел.: +7 (3452) 683-760 вн. 22-760
e-mail: Petr.Bybin@novatek.ru

Anatoliy A. Rasskazov — Deputy Head of Geology Department JSC Yamal LNG.
22, Academician Pilyugin str., Moscow 117393, Russia
e-mail: a.rasskazov@yamalspg.ru

Ekaterina P. Ageeva — Head of Geosteering Department JSC Yamal LNG
22, Academician Pilyugin str., Moscow 117393, Russia
tel.: +7 (495) 228-98-50 ext. 13-594
e-mail: e.ageeva@yamalspg.ru

Petr V. Bybin* — Head of Geosteering Department NOVATEK STC.
7, Pozharnykh i spasateley str., Tyumen 625031, Russia
tel.: +7 (3452) 683-760 ext. 22-760
e-mail: Petr.Bybin@novatek.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author