



© Коллектив авторов,
2024



УДК 551.24.02(571.1)
<https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-4-30-37>

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСНОГО АТРИБУТНОГО АНАЛИЗА КАК ИНСТРУМЕНТА ВЫДЕЛЕНИЯ ДИЗЬЮНКТИВНЫХ НАРУШЕНИЙ РАЗЛИЧНОГО РАНГА С ЦЕЛЬЮ ЛОКАЛИЗАЦИИ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЛОВУШЕК

Э.Р. Гибаев¹, М.С. Космачева¹, И.А. Переплеткин^{1,2,*}, Д.Е. Осадчий³

¹Группа компаний «Газпром нефть», РФ, Санкт-Петербург

²Новосибирский государственный университет, РФ, Новосибирск

³Национальный исследовательский университет «Высшая школа экономики», РФ, Санкт-Петербург

Электронный адрес: ProNeft@gazprom-neft.ru

Введение. На территории Пур-Тазовской НГО имеет место значительное количество дизъюнктивных нарушений различной амплитуды и ранга. Зачастую стандартные принципы картирования разломов не позволяют выделять все разрывные нарушения. Важным вопросом является идентификация малоамплитудных разломов и разломов без смещения, которые часто встречаются на этой территории. Поэтому существует необходимость усовершенствования алгоритмов картирования разрывных нарушений, которые позволяют анализировать пространственное положение разломов по комплексному анализу сейсмических атрибутов.

Цель. Уточнение геологического строения и локализация дизъюнктивных нарушений на одном из участков Пур-Тазовской НГО и оценка влияния разломов на строение залежей УВ. Для этого авторами использован комплексный атрибутный анализ, позволяющий корректно и более точно выделять безамплитудные дизъюнктивные нарушения различного ранга.

Материалы и методы. Методология выделения разломов строилась на комплексировании сейсмических атрибутов, подчеркивающих сигналы от тектонических нарушений за счет подавления шумов. Алгоритм построен на основе подбора последовательности расчета атрибутов и состоит из трех основных этапов — подготовка данных и подавление шумов, подчеркивание границ разломов, выделение разломов и контроль качества.

Результаты. Подобрана оптимальная последовательность расчета атрибутов. Комплексный атрибутный анализ как инструмент выделения дизъюнктивных нарушений применен на одном из участков месторождения Пур-Тазовского региона. По результатам проведения интерпретации тектонических нарушений в районе работ дополнительно выявлено около 30 % новых тектонических нарушений, а также уточнена геометрия ранее выделенных разломов.

Заключение. Авторами предложено применение комплексного атрибутного анализа как инструмента выделения дизъюнктивных нарушений различного ранга с целью локализации структурно-тектонических ловушек.

Ключевые слова: комплексный атрибутный анализ, выделение разломов, структурно-тектоническая ловушка, Пур-Тазовская НГО

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Гибаев Э.Р., Космачева М.С., Переплеткин И.А., Осадчий Д.Е. Применение комплексного атрибутного анализа как инструмента выделения дизъюнктивных нарушений различного ранга с целью локализации структурно-тектонических ловушек. ПРОНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2024;9(4):30–37. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-4-30-37>

Статья поступила в редакцию 16.08.2024

Принята к публикации 06.09.2024

Опубликована 27.12.2024

USE OF COMPLEX ATTRIBUTE ANALYSIS AS A FAULTS' DETECTION INSTRUMENT TO LOCALIZE TECTONIC TRAPS

Emil R. Gibaev¹, Maria S. Kosmacheva¹, Ivan A. Perepletkin^{1,2,*}, Dmitry E. Osadchiy³

¹Gazprom нефть company group, RF, Saint Petersburg

²Novosibirsk State University, RF, Novosibirsk

³National Research University "Higher School of Economics", RF, Saint Petersburg

E-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru

Introduction. A significant number of faults having various amplitude and rank within the Pur-Taz oil and gas region were recently detected. Basic principles of fault mapping make it possible to identify few of them, mainly more major in terms of amplitude and contrast; the main problem remains the identification of low-amplitude faults and faults without displacement. Therefore, fault detection algorithms need to be improved, which allow analyzing the spatial position of faults based on seismic attributes comprehensive analysis.

Aim. The aim of the work is to clarify the geological & tectonic structure of the site under consideration, as well as the impact of identified faults on development. For this purpose, the authors propose the use of complex attribute analysis as instrument of faults' detection with various ranks.

Materials and methods. The methodology of fault identification based on the complex analysis of seismic attributes, emphasizing noise suppression and amplifying signals of faults. The workflow is based on the selection of the sequence of calculation of attributes. The developed methodology consists of three main stages — data preparation and noise suppression, faults' borders highlighting, faults detection and quality control.

Results. The optimal workflow of calculating attributes has been developed. Complex attribute analysis as a tool for identifying disjunctive disorders was applied at one of the fields within the Pur-Taz region. According to the results of the interpretation of tectonic disturbances in the work area, about 30 % of new faults were additionally identified. Moreover, the geometry of existing faults was clarified.

Conclusion. The authors propose the use of complex attribute analysis as a tool for identifying faults in order to localize structural and tectonic traps. Additionally, an analysis of the impact on the development of accounting for identified violations was carried out.

Keywords: complex attribute analysis, faults detection, structural and tectonic traps, reservoir engineering, Pur-Taz region

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest

For citation: Gibaev E.R., Kosmacheva M.S., Perepletkin I.A., Osadchiy D.E. Use of complex attribute analysis as a faults' detection instrument to localize tectonic traps. PRONEFT. Professionally about oil. 2024;9(4):30–37. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2024-9-4-30-37>

Manuscript received 16.08.2024

Accepted 06.09.2024

Published 27.12.2024

ОСОБЕННОСТИ ВЫДЕЛЕНИЯ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЛОВУШЕК УВ В ПУР-ТАЗОВСКОЙ НГО

В пределах Пур-Тазовской нефтегазоносной области (НГО) Западно-Сибирского бассейна выявлено большое количество залежей УВ в ловушках структурно-тектонического типа [1]. Уточнение тектонического строения участков требует усовершенствования методики картирования разломов с целью локализации ловушек данного типа [2].

Пример геометризации ловушек нетрадиционного строения, связанных с горизонтальными сдвиговыми дислокациями и тектоническими перестройками инверсионного типа [3], приведен на **рис. 1**.

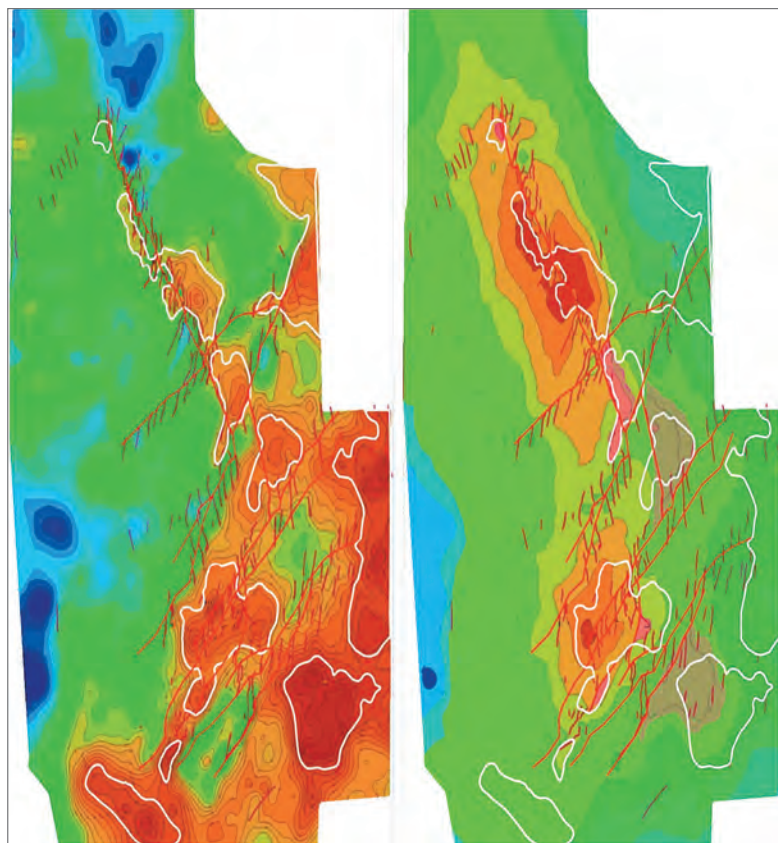
Основополагающим фактором для поиска и локализации потенциальных структурно-тектонических ловушек УВ является наличие сдвиговых дислокаций. Процесс трассирования разрывных нарушений может выполняться как с помощью традиционной ручной интерпретации, так и с помощью применения алгоритмов для автоматического выделения разрывных нарушений. В первом случае специалисты часто сталкиваются с такими неопределенностями как многовариантность видения интерпретатора и качество исходных сейсмических данных, при этом работа ассоциирована с большими временными затратами на выполнение поставленной задачи.

КОМПЛЕКСНЫЙ АТРИБУТНЫЙ АНАЛИЗ ПРИ ВЫДЕЛЕНИИ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ

Методика выделения разломов строится на комплексном анализе сейсмических атрибутов, рассчитанных последовательно. Основой алгоритма является подбор последовательности расчета атрибутов, рассчитанных последовательно. Основой алгоритма является подбор последовательности расчета атрибутов. Методика включает три основных этапа: подготовку сейсмических данных и подавление шумов, картирование границ разломов, выделение разломов

С ЦЕЛЬЮ ЛОКАЛИЗАЦИИ СТРУКТУРНО-ТЕКТОНИЧЕСКИХ ЛОВУШЕК ПРЕДЛОЖЕНА МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ МАЛОАМПЛИТУДНЫХ И БЕЗАМПЛИТУДНЫХ РАЗРЫВНЫХ НАРУШЕНИЙ СДВИГОВОЙ ПРИРОДЫ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АТРИБУТНОГО АНАЛИЗА.

и контроль качества трассирования разрывных нарушений (**рис. 2**). Отличительной особенностью подхода является пошаговая последовательность расчета атрибутов на каждом этапе на основе ранее посчитанных кубов. Впервые методика была опробована на одном из месторождений Томской



Условные обозначения:



Рис. 1. Выделение перспективных структурно-тектонических ловушек УВ по данным палеотектонического анализа в присдвиговых зонах одного из месторождений Пур-Тазовской НГО: а) локализация палеоподнятий на карте изопакхит Ю₁-С; б) сопоставление локальных составляющих с современным структурным планом по кровле пласта Ю₁ [3]
Fig. 1. Identification of promising hydrocarbon traps according to paleotectonic analysis in the near-thrust zones. Pur-Taz region (a) Localization of paleopods on the isopachite map J₁-C; (b) Comparison of local components with the modern structural plan of the J₁ formation top part [3]

области в 2022–2023 годах [4]. Рассмотрим каждый этап подробнее.

1-й этап. Подготовка данных и подавление шумов (рис. 3, а)

Этап включает в себя следующие атрибуты: структурное сглаживание, медианный фильтр и графический эквалайзер [5] и необходим для первичной подготовки входных сейсмических данных, так как изначально они обладают слабой контрастностью. Подбранная последовательность атрибутов позволяет увеличить контрастность исходного сигнала и степень выделения в волновом поле структурных особенностей. В рамках данного этапа производится фильтрация шумовой компоненты, что значительно ускоряет процесс дальнейших расчетов. Впоследствии производится усиление контрастности разрывных нарушений с помощью применения

атрибута направленного контраста амплитуд от 0° до 180° с шагом 10° и далее производится суммирование выявленных атрибутов, что позволяет выявлять границы разломов с частичным подавлением помех. В дальнейшем, при использовании атрибута мгновенной фазы (instantaneous phase), производится фильтрация лишних шумов, тем самым усиливается когерентность волновой картины и, как следствие, увеличивается контрастность выделения дизъюнктивных нарушений [6].

2-й этап. Подчеркивание границ (рис. 3, б)

Результатом данного этапа является усиление сигнала от выявленных границ разломов с уменьшением нежелательных шумов. Начинается он с применения атрибута «Хаос» (Chaos), который подчеркивает аномалии угла падения и направления, что соответствует разрывным нарушениям. Далее с целью устранения возникших потенциальных нежелательных шумов применяется атрибут Edge evidence. Подбор параметров этого атрибута производится экспертным путем.

3-й этап. Выделение разломов (рис. 3, в)

Результатом заключительного этапа является получение подготовленных для дальнейшей интерпретации аномалий в волновом поле, сопоставляемых с дизъюнктивными нарушениями. В рамках расчета с помощью комбинации режимов атрибута Ant-tracking получается относительно «чистый» сигнал в районе разрывных нарушений. Данный атрибут включает множество параметров регулировки, а также имеет два основных режима — «пассивный», который позволяет выделять региональные тектонические нарушения, и «агрессивный», который позволяет выделять локальные разломы [7]. В данной работе применена комбинация «агрессивный — пассивный — агрессивный». Разработанная методика подходит для выделения разломов в условиях сильно зашумленных данных, а также предлагает более «чистые» выходные данные по сравнению с традиционным алгоритмом. Применение данного подхода подразумевает сокращение временных затрат на интерпретацию разломов без потери качества их выделения.

ВЛИЯНИЕ ВЫЯВЛЕННЫХ МАЛОАМПЛИТУДНЫХ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАРУШЕНИЙ НА ВЫБОР ТОЧЕК БУРЕНИЯ

По результатам интерпретации тектонических нарушений дополнительно выявлено до 30 % новых разломов, а также уточнена геометрия ранее выделенных разрывных нарушений.

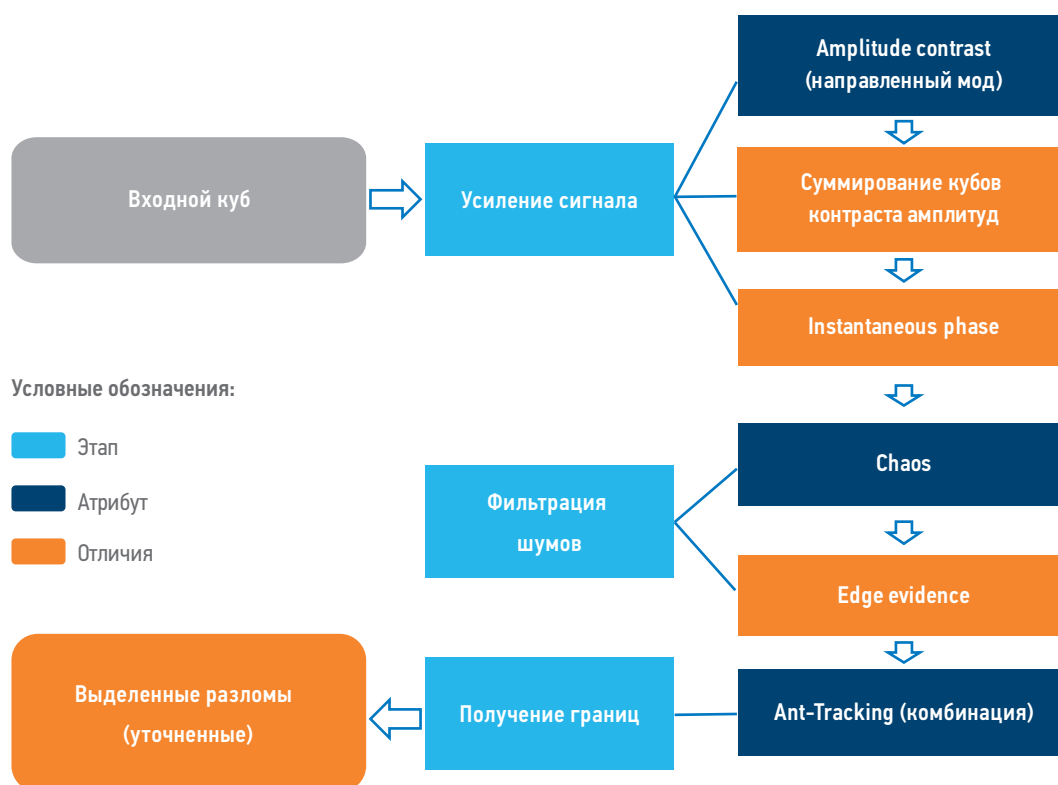


Рис. 2. Последовательность действий в рамках методики комплексного атрибутного анализа. Составлено авторами
Fig. 2. Workflow of complex attribute analysis. Compiled by the authors

Используя стандартный подход интерпретации (рис. 4, а) разломов в волновом поле (в областях потери когерентности фаз при прослеживании отражающих горизонтов) при интерпретации разрывных нарушений, к северу от скважины 5PL закартирован локальный разлом, который сечет антиклинальную ловушку в интервале продуктивного пласта. Анализ положения проектной точки бурения пилотного ствола скважины 5PL показал, что место ее заложения выбрано не совсем удачно, так как при постановке бурения пилотного ствола не было учтено его положение относительно тектонического экрана. На рис. 4, в показан уточненный вариант интерпретации разломов в волновом поле после проведения комплексного атрибутного анализа. Учитывая эти результаты, для успешного бурения скважины авторами предложено сместить точку бурения пилотного ствола 5PL (рис. 4, г).

При проведении контроля качества (рис. 5) видно, что фактическая разница в абсолютных отметках кровли пласта γ_1 по скважинам с отходом 200-300 м изменяется от 4 до 33 м. Зеленая диаграмма показывает положение кровли продуктивного пласта к западу от выделенного разлома, синяя диаграмма — положение кровли пласта к востоку от этого разлома. Выявленная разница в абсолютных отметках может

свидетельствовать о наличии между скважинами разрывных нарушений со смещением, которые удалось выявить с помощью авторского подхода.

Используя подход комплексного атрибутного анализа [3], в районе соседнего тектонического нарушения уточнено пространственное положение ловушки, для которой на основе вероятностного подхода рассмотрены возможные исходы событий по перцентилям P_{10} , P_{50} , P_{90} .

Для успешного опoisкования этой ловушки авторами было предложено скорректировать место бурения пилотного ствола скважины 4PL, это позволило вскрыть 16,9 м эффективных толщин, что соответствовало максимальному варианту оценки (рис. 5) и водонефтяному контакту (ВНК) по подошве пропластка «нефть + вода». Однако, несмотря на то что пилотный ствол забурен в зону максимальных эффективных толщин коллекторов, положение кровли пласта оказалось ниже, что не было учтено из-за отсутствия выделенных разрывных нарушений с небольшим смещением. Учитывая хорошие прогнозируемые фильтрационно-емкостные свойства, а также ожидаемую трещиноватость и небольшой размер залежи, типом заканчивания выбрана горизонтальная скважина с длиной ствола 500 м без проведения многостадийного гидроразрыва пласта (МГРП).

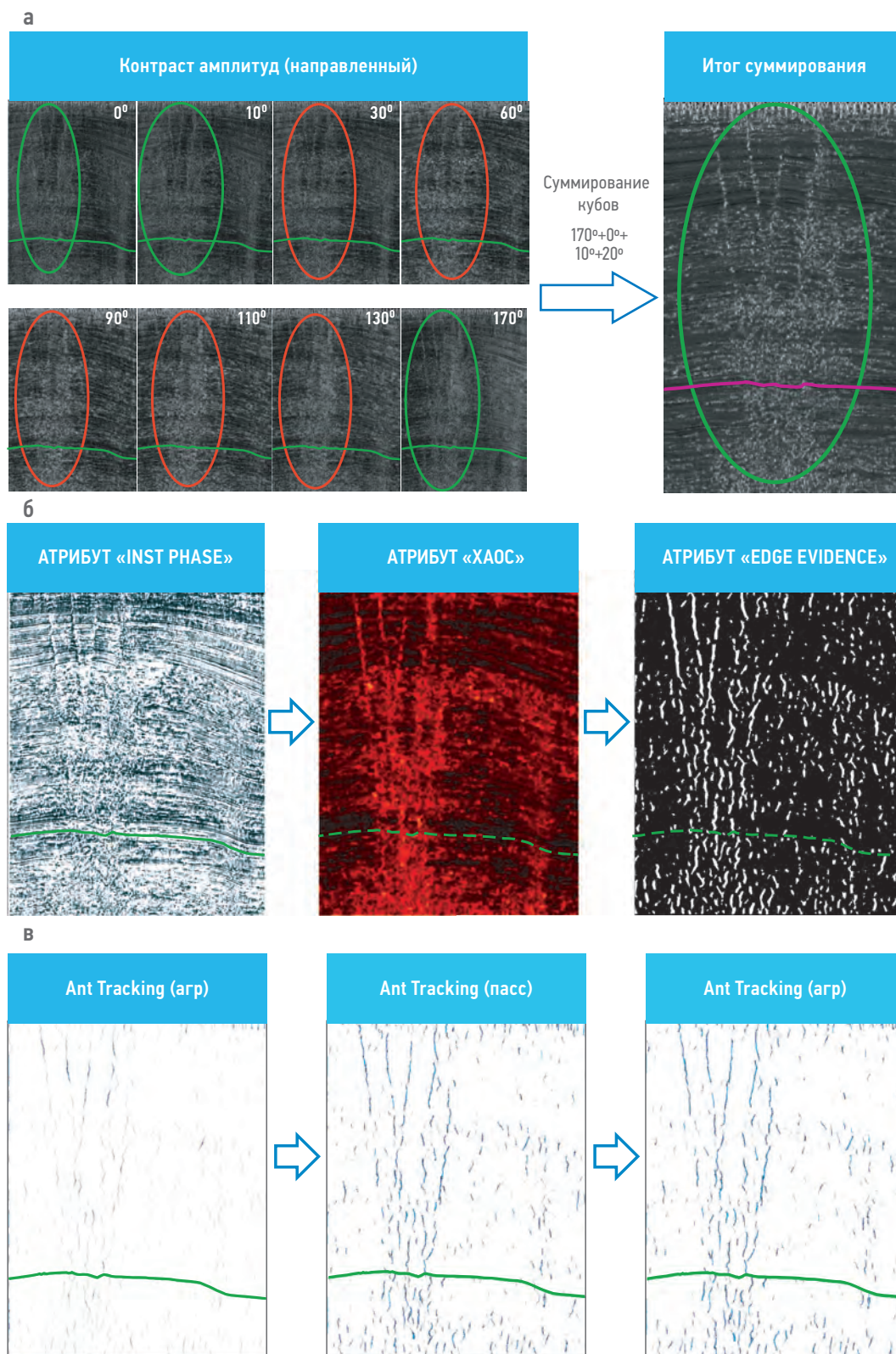


Рис. 3. Основные этапы выделения разломов с использованием комплексного атрибутного анализа: а) подготовка данных и подавление шумов, б) подчеркивание границ, в) выделение разломов. Зеленая линия — кровля ОГ Б. Составлено авторами

Fig. 3. The main stages of fault identification using complex attribute analysis: а) data preparation and noise reduction, б) underlining the borders, в) separation of faults. Green line — 'B' reflection horizon. Compiled by the authors

Запускные параметры горизонтальной скважины полностью подтвердили и превзошли прогнозные расчеты (до перевода

на механизированный способ добычи скважина фонтанировала с дебитами более 500 м³/сут).

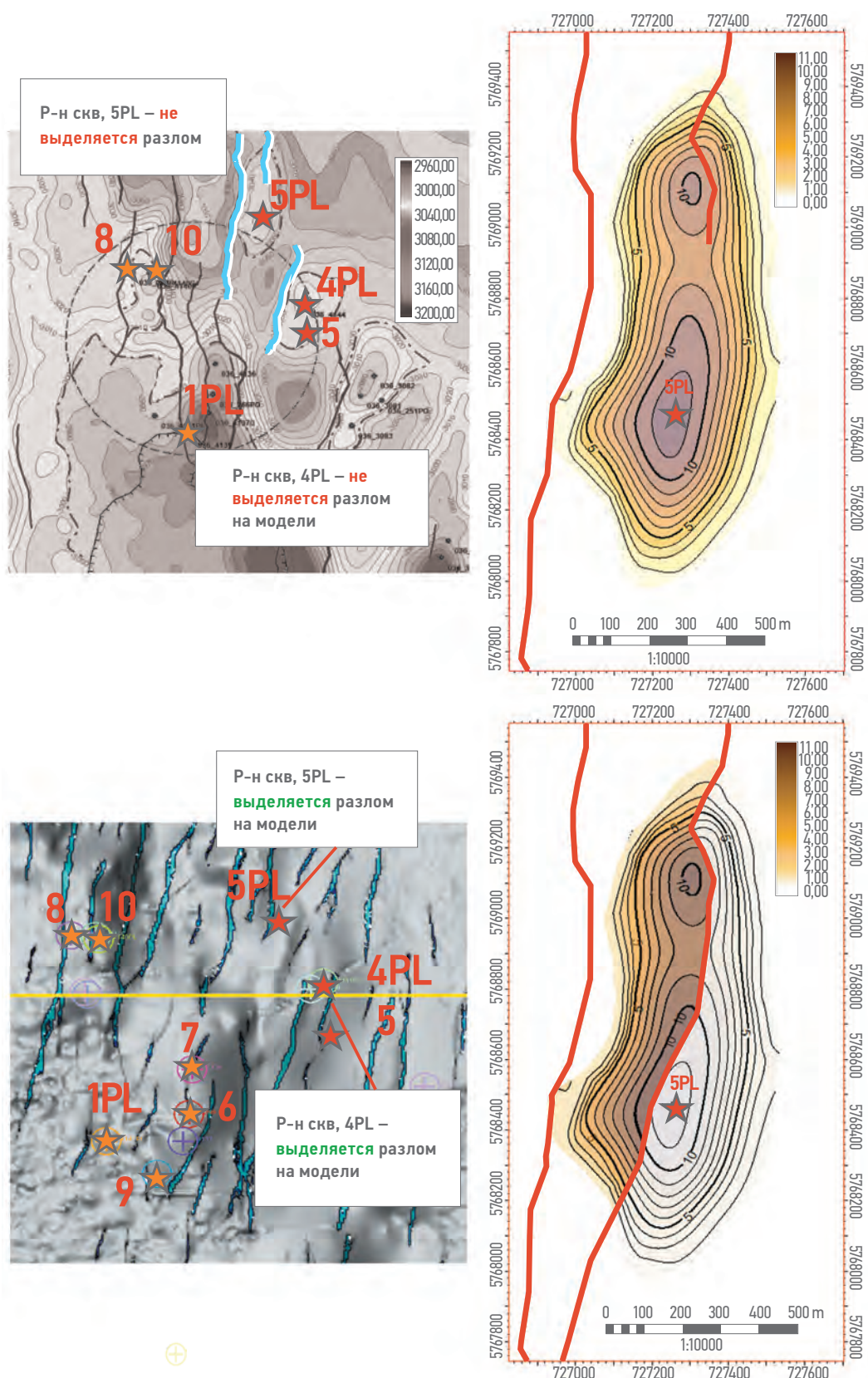


Рис. 4. Результаты применения методики комплексного атрибутивного анализа: а) первоначальная интерпретация разломов и локализация перспективных ловушек, б) конфигурация разлома и перспективной ловушки в р-не скв. 5PL до выделения разлома при исходной интерпретации, в) визуализация разломов по результатам применения комплексного атрибутивного анализа, г) конфигурация разлома и потенциальное положение структурно-тектонической ловушки в р-не скв. 5PL по результатам применения методики. Составлено авторами

Fig. 4. Results of the application of the methodology of complex attribute analysis on the example of the Upper Jurassic deposits (Western Siberia). а) The initial interpretation of faults and localization of promising deposits, б) The configuration of the deposit in the area of well 5PL before the separation of the fault upon the initial interpretation, в) A wave pattern with visualization of faults based on the results of complex attribute analysis, д) The configuration of the deposit in the area of well 5PL using complex attribute analysis methodology. Compiled by the authors

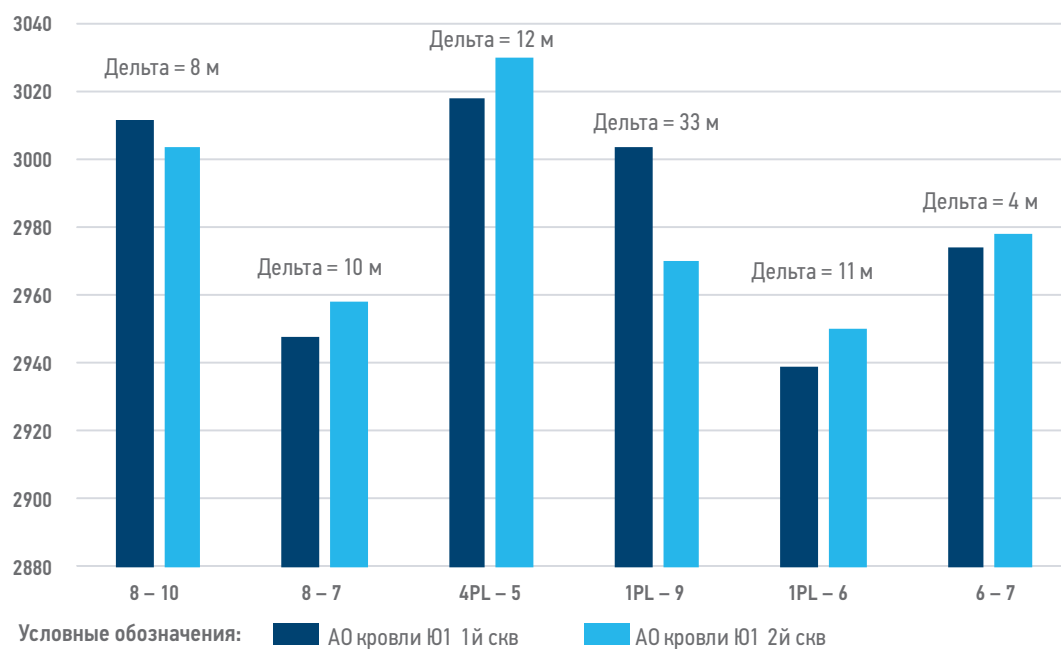


Рис. 5. Контроль качества: разницы в абсолютных отметках соседних скважин, разделенных разломами.
Составлено авторами

Fig. 5. Quality control: differences in absolute depths of neighboring wells separated by faults. Compiled by the authors

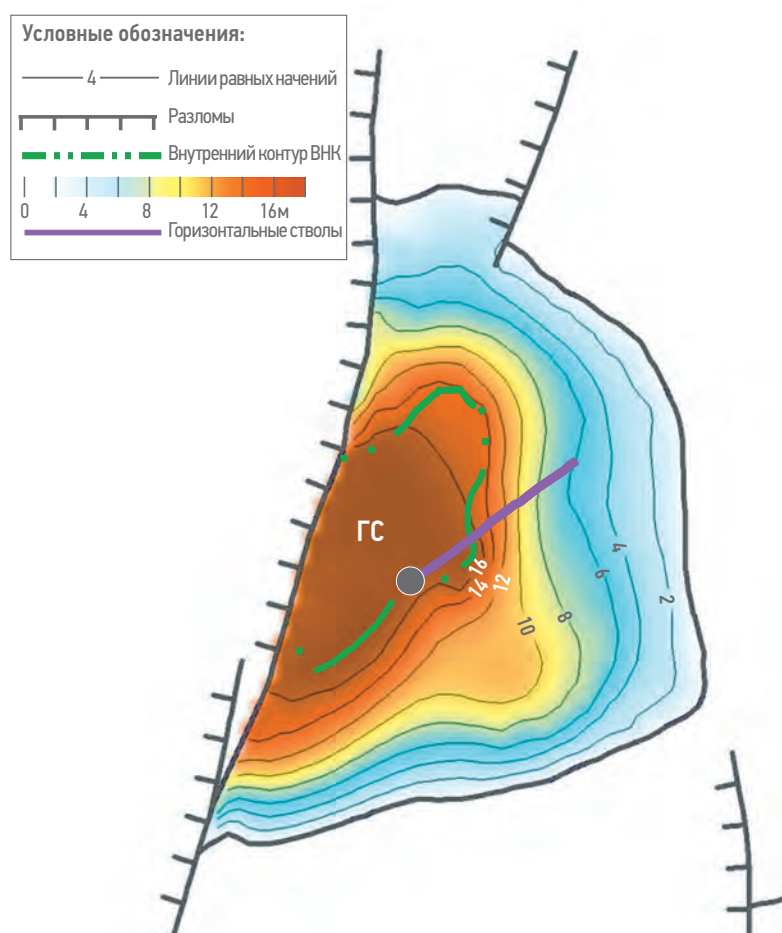


Рис. 6. Фактическое расположение горизонтальной скважины по результатам бурения на карте эффективных толщин. Составлено авторами

Fig. 6. The actual location of a horizontal well based on drilling results on an effective thickness map. Compiled by the authors

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполненной работы установлено, что на площадях Пур-Тазовской НГО для выделения дизъюнктивных нарушений как со значительными смещениями, так и мало- или безамплитудных необходимо использовать весь арсенал геологических и геофизических методов изучения геологических объектов, так как обоснование наличия разрывных нарушений, расчет их амплитуды и установление присборской зональности типов коллекторов сильно влияет на достоверность построения геологических моделей месторождений на этой территории.

На одном из участков месторождения Пур-Тазовской НГО по результатам применения комплексного атрибутивного анализа, предложенного авторами, удалось локализовать несколько тектонически экранированных ловушек и рекомендовать более удачные места для заложения пилотных стволов с целью успешного опосредованного поиска ловушек.

Таким образом, применение авторской методики интерпретации разломов позволяет повысить успешность проектного бурения на территории площадей Пур-Тазовской НГО при выработке стратегии ГРП, а также увеличить рентабельность и экономическую привлекательность активов.

Список литературы

1. Беспалова С.Н., Бакуев О.В. Оценка влияния разломов на геологические особенности залежей и продуктивность коллекторов газовых месторождений Западной Сибири // Москва: Геология нефти и газа. — 1995. — № 7. — С. 16–21.
2. Лесной А.Н., Бочкарев А.В., Бронскова Е.И. Повышение эффективности выработки трудноизвлекаемых запасов на основе учёта дизъюнктивных нарушений и анализа геолого-технических мероприятий // Нефтепромысловое дело. — 2014. — № 9. — С. 12–16.
3. Михайлова С.В., Летунова Л.И., Филиппович Ю.В., Альмухаметов М.А., Черевко М.А. Использование метода палеотектонических реконструкций для поиска залежей нефти в верхнеюрских отложениях Еты-Пуровского месторождения // Нефтяное хозяйство — 2009. — № 12. — С. 22–24.
4. Гибеев Э.Р., Волкова А.А. Применение комплексного сейсмического атрибутного анализа для автоматического выделения разломов. Материалы 10-й геолого-геофизической конференции «Санкт-Петербург-2023». Геомодель. — 2023. — 4 с.
5. Chopra S., Marfurt K.J. Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization. SEG. Tulsa, 2007. 800 p.
6. Daber R., Knudsen E., et al. Petrel attribute guide. Schlumberger, 2007. 518 p.
7. Aqrabi et al. Amplitude Contrast Attribute. Schlumberger, 2012. 21 p.

References

1. Bepalova S.N., Bakuev O.V. Assessment of the impact of faults on the geological features of deposits and reservoir productivity of gas fields in Western Siberia. Moscow: Petroleum Geology. 1995, no. 7, pp. 16–21. (In Russ.)
2. Lesnoy A.N., Bochkarev A.V., Bronskova E.I. Improving the efficiency of production of hard-to-recover reserves based on accounting for disjunctive disturbances and analysis of geological and technical measures. *Petroleum Engineering*. 2014, no. 9, pp. 12–16. (In Russ.)
3. Mikhailova S.V., Letunova L.I., Filippovich Yu.V., Almukhametov M.A., Chevevko M.A. Using the paleotectonic reconstruction method to search for oil deposits in the Upper Jurassic sediments of the Ety-Purovskoye field. *Neftyanoe Khozyaystvo*. 2009, no. 12, pp. 22–24.
4. Gibaev E.R., Volkova A.A. Application of complex seismic attribute analysis for automatic fault identification. Materials of the 10th geological and geophysical conference "St. Petersburg-2023". Geomodel, 2023. 4 p. (In Russ.)
5. Chopra S., Marfurt K.J. *Seismic Attributes for Prospect Identification and Reservoir Characterization*. SEG. Tulsa, 2007. 800 p.
6. Daber R., Knudsen E., et al. *Petrel attribute guide*. Schlumberger, 2007. 518 p.
7. Aqrabi et al. *Amplitude Contrast Attribute*. Schlumberger, 2012. 21 p.

ВКЛАД АВТОРОВ / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Э.Р. Гибеев — разработал концепцию исследования, провел эксперимент, производил расчеты атрибутов, подготовил текст и рисунки. Согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

М.С. Космачева — провела литературный обзор, подготовила текст и рисунки. Согласна принять на себя ответственность за все аспекты работы.

И.А. Переплеткин — производил расчеты атрибутов, подготовил текст и рисунки. Согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Д.С. Осадчий — производил анализ результатов на разработку. Согласен принять на себя ответственность за все аспекты работы.

Emil R. Gibaev — developed the concept of the study, conducted an experiment, run calculations of attributes, prepared the text & figures. Accepted the responsibility for all aspects of the work.

Maria S. Kosmacheva — conducted a literature review, prepared the text & figures. Accepted the responsibility for all aspects of the work.

Ivan A. Perepletkin — run calculations of attributes, prepared text & figures. Accepted the responsibility for all aspects of the work.

Dmitry E. Osadchiy — analyzed the results for development. Accepted the responsibility for all aspects of the work.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Эмиль Раилевич Гибеев — ведущий инженер, Группа компаний «Газпром нефть»

Мария Сергеевна Космачева — главный специалист, Группа компаний «Газпром нефть»

Иван Алексеевич Переплеткин* — инженер, Новосибирский государственный университет 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, д. 2. e-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3753-2660>
AuthorID: 962435
SPIN-код: 1246-0648
Scopus: 57205282863

Дмитрий Евгеньевич Осадчий — главный специалист, НИУ «Высшая школа экономики» (ВШЭ) — Санкт-Петербург

Emil R. Gibaev — Lead engineer, Gazprom нефть company group

Maria S. Kosmacheva — Chief specialist, Gazprom нефть company group

Ivan A. Perepletkin* — Engineer, Novosibirsk State University 2, Pirogov str., 630090, Russia, Novosibirsk. e-mail: ProNeft@gazprom-neft.ru
ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-3753-2660>
AuthorID: 962435
SPIN-code: 1246-0648
Scopus: 57205282863

Dmitry E. Osadchiy — Chief specialist, Higher School of Economics (HSE) — Saint Petersburg

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author