

УДК 550.8.053

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-2-126-133

ОЦЕНКА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЕЙ СТРУКТУРНЫХ ПОСТРОЕНИЙ В СЛУЧАЕ ОТСУТСТВИЯ СКВАЖИН НА ТЕРРИТОРИИ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Екатерина Андреевна Милентьева¹, Роман Олегович Верещакин²,
Александра Сергеевна Ломакина³, Алина Александровна Оболенская⁴

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; kate0808mm@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; veresagin2001@gmail.com

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; lomakina.aleksa@bk.ru

⁴ ООО «ЛУКОЙЛ-Инжиниринг», Москва, Россия; Alina.Obolenskaya@lukoil.com

Аннотация: Статья посвящена вопросам минимизации неопределенности структурных построений по данным сейсморазведки 2D в условиях отсутствия скважинной информации на примере одной из площадей Каспийского моря. Площадь исследований характеризуется наличием высоко и низкоскоростных локальных аномалий в верхней части разреза, оказывающих унаследованное влияние на структурные планы по целевым отражающим горизонтам. Сейсмические данные, полученные по 2D методу общей глубинной точки, на площади исследований были обработаны и интерпретированы в 2020 г. для решения задач структурной оценки ресурсов, а затем в 2023 г. переработаны с применением новых технологий и переинтерпретированы с целью уточнения и актуализации полученных ранее результатов. В рамках переработки 2023 г. качество сейсмического изображения контролировалось при помощи технологий супервайзинга и интерпретационного сопровождения обработки с целью минимизации неопределенностей структурных построений и уточнения ресурсных прогнозов. Минимизация неопределенностей структурных построений имела принципиальное значение для дальнейшего планирования 3D методики проведения сейсморазведочных работ, оценки ресурсов и бурения.

Ключевые слова: сейсморазведка 2D, обработка сейсмических данных, оценка неопределенности структурных построений, супервайзинг обработки, Каспийский регион

Для цитирования: Милентьева Е.А., Верещакин Р.О., Ломакина А.С., Оболенская А.А. Оценка неопределенностей структурных построений в случае отсутствия скважин на территории Каспийского моря // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 2. С. 126–133.

ESTIMATION OF THE UNCERTAINTIES OF STRUCTURAL IMAGING IN THE ABSENCE OF WELLS IN THE CASPIAN SEA

Ekaterina A. Milenteva¹, Roman O. Vereshchakin², Aleksandra S. Lomakina³,
Alina A. Obolenskaya⁴

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; kate0808mm@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; veresagin2001@gmail.com

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; lomakina.aleksa@bk.ru

⁴ LUKOIL-Engineering LLC, Moscow, Russia; Alina.Obolenskaya@lukoil.com

Abstract. The article is dedicated to the factors affecting the estimation of the structural uncertainty on the 2D seismic data for the case of no LOG and VSP data on the one of the Caspian Sea areas. Complex seismogeological structure of the near-surface section and high and low-velocity local anomalies affected the structural geometry for the target reflecting horizons — are the key features of project. 2D seismic data was processed and interpreted from 2020 and 2023. During re-processing in 2023, the imaging of time and depth migrated images was significantly enhanced in particular by efficient supervision and interpretive maintenance. The results of the evaluation of the uncertainties of the structural plan for the area of interest were of fundamental importance for the further planning of the methodology of 3D seismic exploration and drilling.

Keywords: 2D seismic survey, seismic data processin, estimation of uncertainty of structural imaging, processing supervising, the Caspian region

For citation: Milenteva E.A., Vereshchakin R.O., Lomakina A.S., Obolenskaya A.A. Estimation of the uncertainties of structural imaging in the absence of wells in the Caspian Sea. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 2: 126–133. (In Russ.).

Введение. Достоверность оценки перспектив нефтегазоносности и предбурового прогноза во многом зависит от результатов структурной и дина-

мической интерпретации, которые в свою очередь определяются качеством полевых сейсмических данных и проведенной обработки, а также объ-

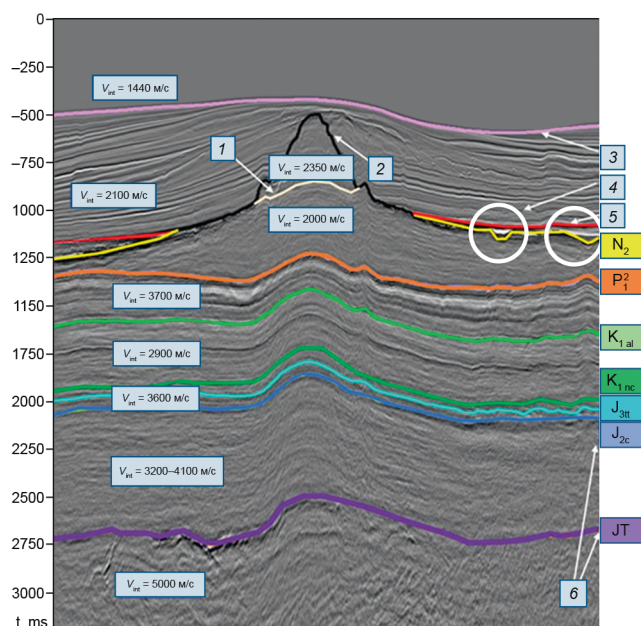


Рис. 1. Пример сейсмического разреза с выделенными опорными ОГ и структурными особенностями: 1 — граница раздела высоко- и низкоскоростной частей останца; 2 — кровля останца; 3 — морское дно; 4 — палеоврез; 5 — кровля клиноформ, 6 — геологический возраст горных пород

емом доступной априорной геолого-геофизической информации. Для повышения достоверности прогноза нефтегазоносности и оценки его точности необходимо минимизировать факторы, влияющие на неопределенности структурного плана на стадии обработки сейсмических данных. Согласно литературным данным [Гржибовский, 2007], огромный вклад в неопределенность структурных построений вносит качество глубинно-скоростной модели и мигрированного сейсмического изображения. Неопределенность структурных построений зависит от качества и полноты априорных данных: геофизических исследований скважин (ГИС), вертикального сейсмического профилирования (ВСП) по скважинам сопредельных районов исследования, региональных карт и т. д. Кроме того, такие факторы, как плотность сейсмических наблюдений также способны понизить качество прогноза. Перечисленные факторы были проанализированы с целью учета их влияния на структурный план и выбора оптимальной стратегии проведения дальнейших геологоразведочных работ (ГРП) на площади исследований.

Материалы и методы исследований. Исходным материалом для написания статьи стали 2D сейсморазведочные данные изучаемой площади работ, данные АК и ВСП из скважин, расположенных на соседних площадях, информация по региональным трендам осадконакопления, поверхностям несогласия и другим геологическим особенностям, аналоги которых изучены на соседних площадях. Исследуемый участок находится в акватории Среднего Каспия. Перспективными являются юрские и меловые отложения, кровля которых уверенно прослеживается на сейсмическом разрезе (рис. 1).



Рис. 2. Современные аналоги палеоостанца (п-ов Мангышлак, Казахстан) снизу и гора Тарки-Тай, Республика Дагестан сверху: предположительно высокоскоростная часть останца (1), низкоскоростная часть останца (2)

Район работ характеризуется сложным строением отложений возраста N1-P12, включающих системы акустически контрастных палеоврезов, клиноформ, поверхностей несогласия, а также эрозийные карбонатные останцы (современные аналоги, наблюдаемые на территории Казахстана и Дагестана, представленные на рис. 2).

Ввиду отсутствия скважин на изучаемой территории для проведенного исследования были привлечены данные акустического и плотностного каротажей, полученных в скважинах, расположенных на соседних площадях.

С целью оценки неопределенностей структурных построений было необходимо решить следующие задачи: 1) детально изучить геологическое строение исследуемого участка; 2) выделить сейсмостратиграфические особенности разреза и определить их влияния на нижележащие горизонты; 3) исследовать причины возникновения структурных неопределенностей, методы их оценки и минимизации; 4) оценить вклад каждого из факторов в оценку неоднозначности структурной интерпретации.

Структурная интерпретация исходных данных сейсморазведки и оценка неопределенностей структурных построений были проведены с использованием ПО Petrel и Excel.

Результаты исследований и их обсуждение.

Ранее было установлено, что в ряде случаев олигоцен-миоценовые останцы, наблюдаемые в акватории Каспия, формируют в волновом поле локальную высокоскоростную аномалию, способную оказать унаследованное влияние на структурный план нижележащих отражающих горизонтов (ОГ). В процессе выполненного интерпретационного анализа было установлено, что структура палеоостанца, вероятнее всего, включает в себя высокоскоростную, сильно эродированную часть и подстилающую ее низкоскоростную слабоэродированную часть площадного распространения. Для того, чтобы детализировать структурный план по целевым ОГ в условиях отсутствия априорных скважинных данных непосредственно на площади работ, авторами

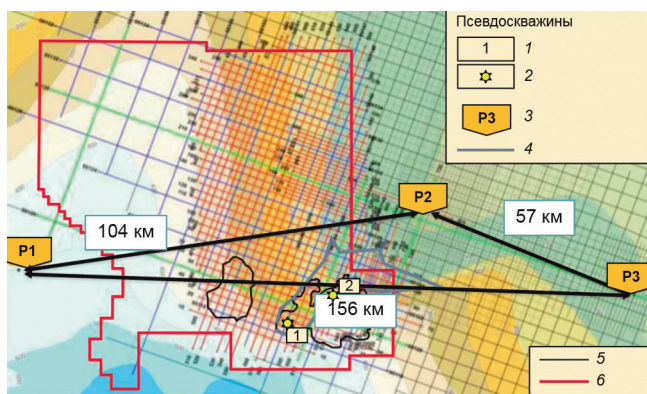


Рис. 3. Схема расположения профилей, скважин и псевдоскважин, зон распространения сейсмогеологических аномалий на площади исследований: 1 — номер реальной скважины, 2 — условное обозначение реальной скважины, 3 — номер и условное обозначение псевдоскважины, 4 — контур предполагаемой зоны распространения останца, 5 — контур исследуемых геологоразведочных территорий, представляющих интерес, 6 — контур лицензионного участка

было предложено сформировать псевдокаротажные кривые в некоторых точках на площади, например, в сводах перспективных структур в проектных точках для будущего бурения. Для данной территории было предложено сформировать 2 псевдоскважины в сводах двух перспективных структур. Для каждой из псевдоскважин на основе статистических данных по скважинам с соседних участков и региональных трендов была сконструирована кривая акустического каротажа. Схема расположения двух псевдоскважин (под номерами 1 и 2) трех реальных скважин (P1-P3), находящихся на соседних площадях, и останца на площади исследования представлена на рис. 3.

Построение кривой АК псевдоскважин. Для оптимизации оценки структурных неопределенностей на малоизученном районе были построены псевдоскважины в сводах двух перспективных структур. В рамках данного исследования для учета влияния особенностей верхней части разреза псевдоскважины позволили оценить допустимые диапазоны коэффициента отражения на границах опорных горизонтов и, насколько это возможно, диапазоны интервальных скоростей в слоях.

Как было отмечено выше, две псевдоскважины были размещены в сводах двух перспективных структур, а именно в точке пересечения 2D профилей (что благоприятно для привязки данных к скважинным и необходимого соответствия t_0 и значений глубин отбивок) (рис. 4).

Псевдоскважина № 1 локализована в своде структуры № 1, расположенной непосредственно под палеоостанцом. В рамках работ 2020 г. структура считалась основной с точки зрения перспективности для последующего бурения. По результатам переобработки и переинтерпретации 2023 г. ее прогнозируемые размеры были существенно уменьшены за счет детального учета унаследованного влияния

палеоостанца на структурный план. Псевдоскважина № 2 расположена в своде структуры № 2 в зоне отсутствия палеоостанца, однако северное замыкание структуры контролируется унаследованным влиянием локальных скоростных аномалий, связанных с различными объектами верхней части разреза (ВЧР) (палеоврезами и оползневыми телами) олигоцен-миоценового возраста. В рамках работ 2020 г. структура считалась второстепенной с точки зрения перспективности для последующего бурения. По результатам переобработки и переинтерпретации 2023 г. ее прогнозируемые размеры были существенно увеличены, и она стала представлять интерес для дальнейших работ ГРП.

В точках псевдоскважин восстанавливались кривые псевдоакустического каротажа с учетом информации о глубинах опорных отражающих горизонтов и диапазонах интервальных скоростей слоев путем комбинации и трансформации реальных фрагментов записи акустического каротажа (АК) скважин с соседних лицензионных участков с учетом трендов изменения мощности и глубин залегания слоев. После построения глубинно-скоростной модели, применения методики Full Wave Inversion (FWI) и сейсмической томографии для ее уточнения, проведения глубинной миграции Кирхгофа амплитуда структур и, соответственно, конфигурация основных отражающих горизонтов изменилась. Анализ глубинных мигрированных разрезов показал, что амплитуда структуры в точке псевдоскважины № 1 уменьшилась, а в точке псевдоскважины № 2 увеличилась.

На рис. 4 изображен композит глубинных профилей, полученных после уточнения глубинно-скоростной модели (ГСМ) и глубинной миграции Кирхгофа. Пример кривых акустического каротажа псевдоскважин № 1 и № 2 см, наложенных на сейсмические разрезы в глубинной области, приведен на рис. 5.

Однако, такой способ восстановления кривых псевдоакустического каротажа имеет ряд ограничений, которые необходимо учитывать при дальнейшем использовании полученных кривых в качестве априорной информации:

- восстановление отрезка кривой АК для заданного слоя возможно, если в реальных скважинах этот слой был вскрыт или существуют априорные данные о физических свойствах в этих слоях;
- чем больше данных по реальным скважинам доступно при построении заданного слоя, тем надежнее фрагмент восстановленной кривой;
- слабая региональная изменчивость свойств по латерали внутри пласта, относительное постоянство гипсометрического положения слоя в реальных скважинах и псевдоскважинах, а также схожесть фрагментов реальных кривых АК по абсолютным величинам, трендам и качеству способствуют повышению надежности восстановленного фрагмента АК и наоборот;

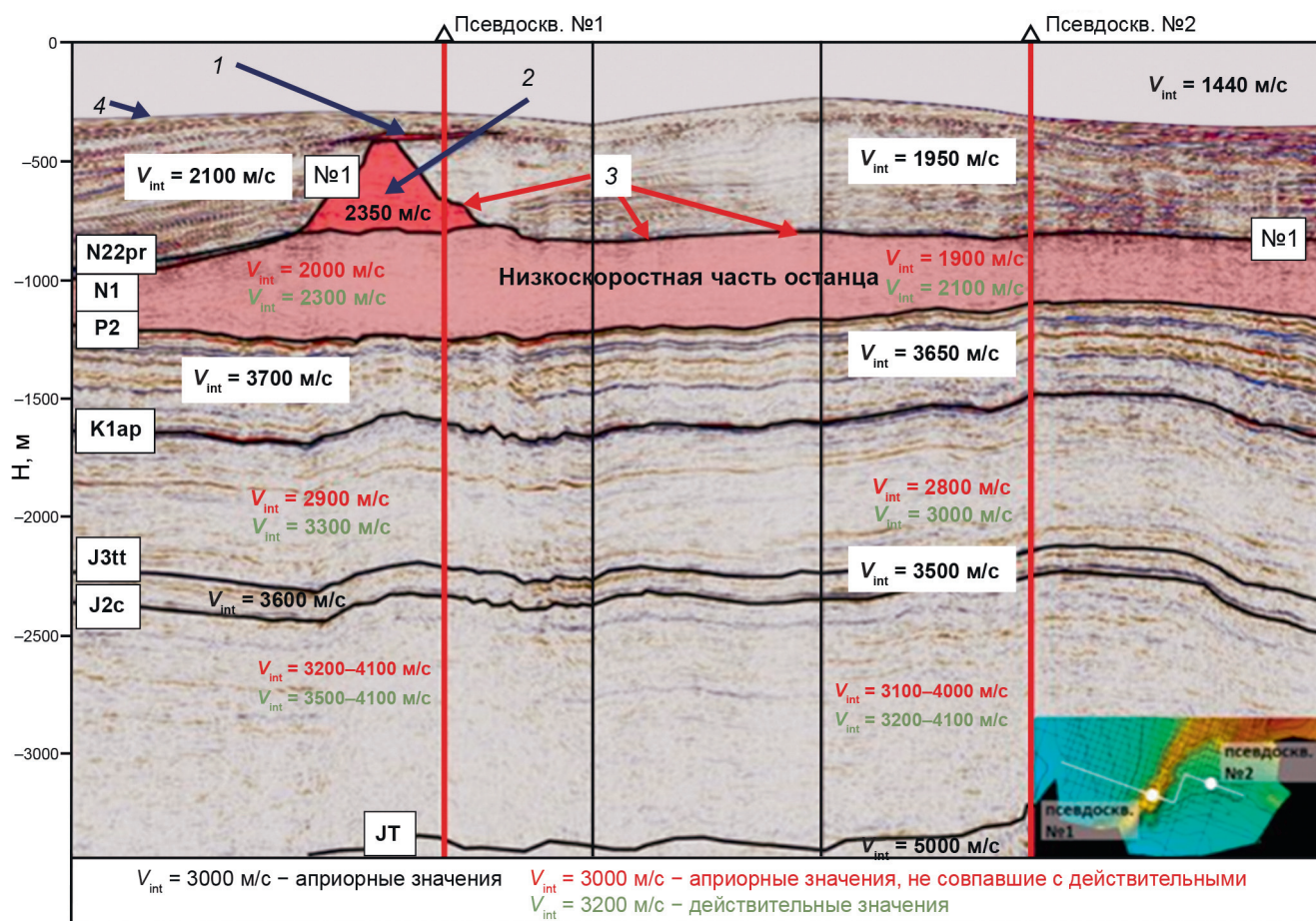


Рис. 4. Композитный глубинный профиль, проходящий через псевдоскважины № 1 и № 2: красным цветом выделены тонкий прослой карбонатных пород и высокоскоростная часть останца, розовым цветом выделена низкоскоростная часть останца (1 — карбонаты, 2 — высокоскоростная часть останца, 3 — поверхность размыва, 4 — морское дно)

– скорости в слоях, ограниченных поверхностями несогласия, неконтрастными плохо прослеживаемыми на сейсмических данных ОГ, а также в мало-мощных слоях, заведомо сложнее восстановить в псевдоскважине, поэтому надежность кривых в этих интервалах снижается.

Априорных данных по реальным скважинам, находящимся на соседних площадях, при построении слоев верхней части разреза было недостаточно, чтобы фрагмент восстановленной кривой в данном интервале был надежным без единой погрешности. Соответственно, нарушения данного ограничения методики были исправлены для верхней части разреза путем учета трендовой составляющей. Корректировок для нижней части разреза, в том числе целевого интервала, не производилось, поскольку в данной области нам хорошо известны не только скорости из сейсмических данных, но и скважинная информация, позаимствованная с соседних реальных скважин. Следует отметить, что верхняя неоген-четвертичная часть разреза для обеих псевдоскважин была восстановлена условно в отсутствии полноценных данных АК на основании геологических предположений о строении разреза, поэтому на графиках этот интервал разреза представлен осредненными ступенчатыми кривыми. По

результатам глубинной обработки данный интервал был уточнен и детализирован.

В качестве оценки качества созданных моделей псевдоскважин, авторами было проведено одномерное моделирование трасс коэффициентов отражения по восстановленной акустике и плотностному каротажу, после чего были сопоставлены полученные синтетические трассы с реальными трассами в трех существующих скважинах, расположенных на соседних площадях. Была сравнена привязка сейсмических данных к смоделированным трассам и тех же сейсмических данных к синтетическим трассам скважин с соседних площадей.

Результаты моделирования синтетических трасс и привязки реальных сейсмических данных к ним представлены на рис. 6.

По итогам привязки коэффициент корреляции реальной скважины, расположенной на соседней площади, составил 0,84, а коэффициент корреляции псевдоскважины № 2, расположенной в своде структуры № 2, — 0,58. Полученный коэффициент корреляции привязки псевдоскважины № 2 ниже сравниваемого с ним коэффициента корреляции привязки реальной скважины, но авторы объясняют данное расхождение приблизительно значений акустического и плотностного каротажей, восста-

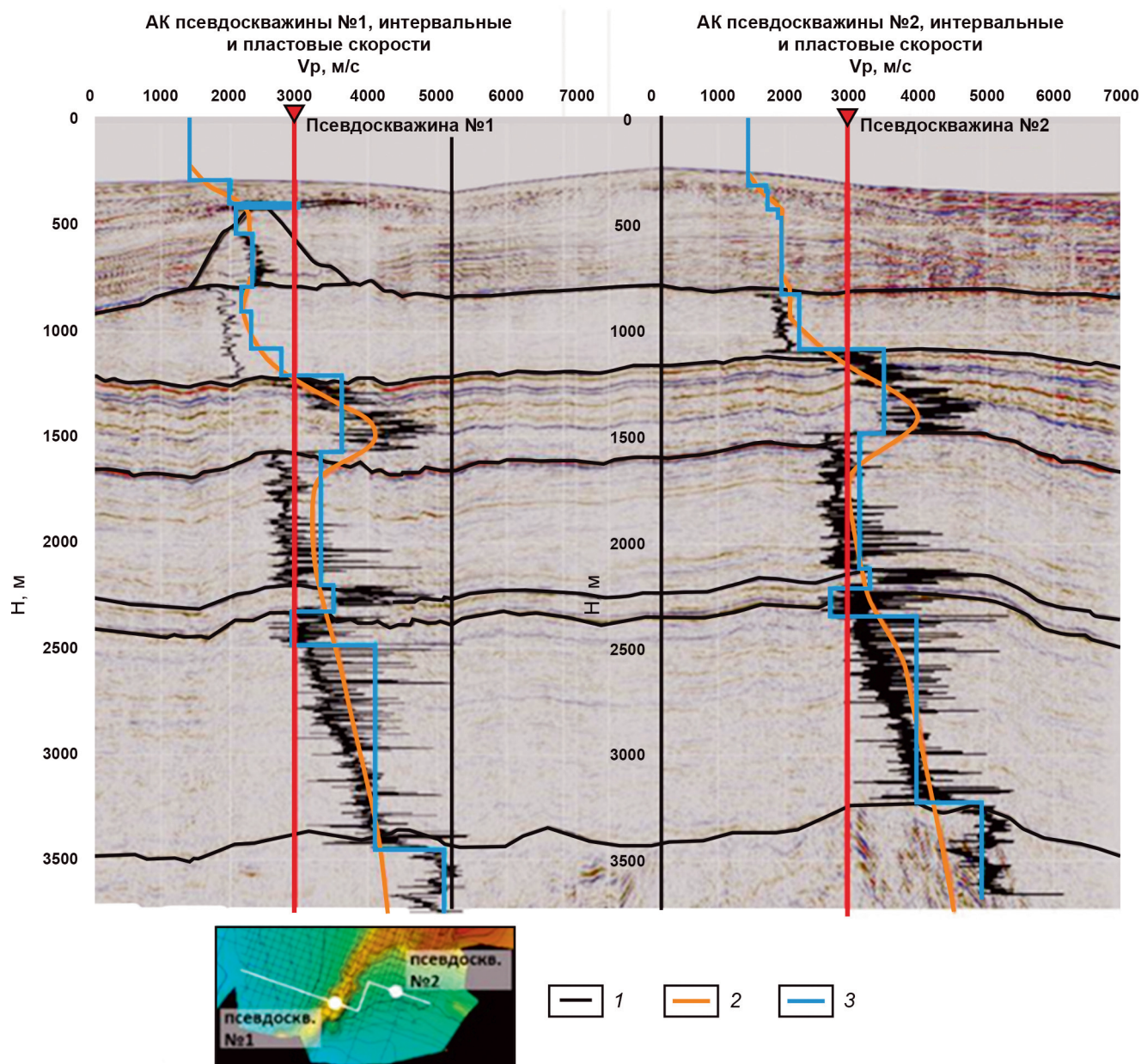


Рис. 5. Композитный профиль, проходящий через псевдоскважины № 1 и № 2 (1 — АК псевдоскважины, 2 — трасса интервальных скоростей (по данным обработки), 3 — пластовые скорости)

новленных по данным вспомогательных скважин с соседних площадей. В целом, коэффициент корреляции, полученный при привязке псевдоскважины № 2 можно считать удовлетворительным для выполненного приблизительного моделирования.

Оценка неопределенностей структурных построений. По мнению авторов, к факторам, влияющим на неопределенность структурной интерпретации, относятся:

- точность, устойчивость и детальность определения скоростных характеристик по сейсмограммам в ходе обработки;
- локальные скоростные аномалии, сопоставимые с сейсмической расстановкой в вышележащей толще, или латеральная изменчивость скоростей в слоях;
- редкая сеть профилей 2D;

- неустойчивая корреляция ОГ для построения структурных карт, неоднозначный выбор фазы для корреляции;

- выдержанность сейсмической фазы, использованной для корреляции ОГ;
- интерференция с остаточными кратными волнами и боковыми отражениями;
- метод и параметры интерполяции при картопостроении;
- радиус сглаживания карты;
- сама методика 2D при условии наклонной границы дает неопределенности.

В литературе описаны различные подходы к оценке неопределенностей структурной интерпретации, например, метод нелинейной наклонной томографии [Messud, et al., 2020] и вероятностная оценка [Орлов, 2004]. В публикации [Куркин, 2016]

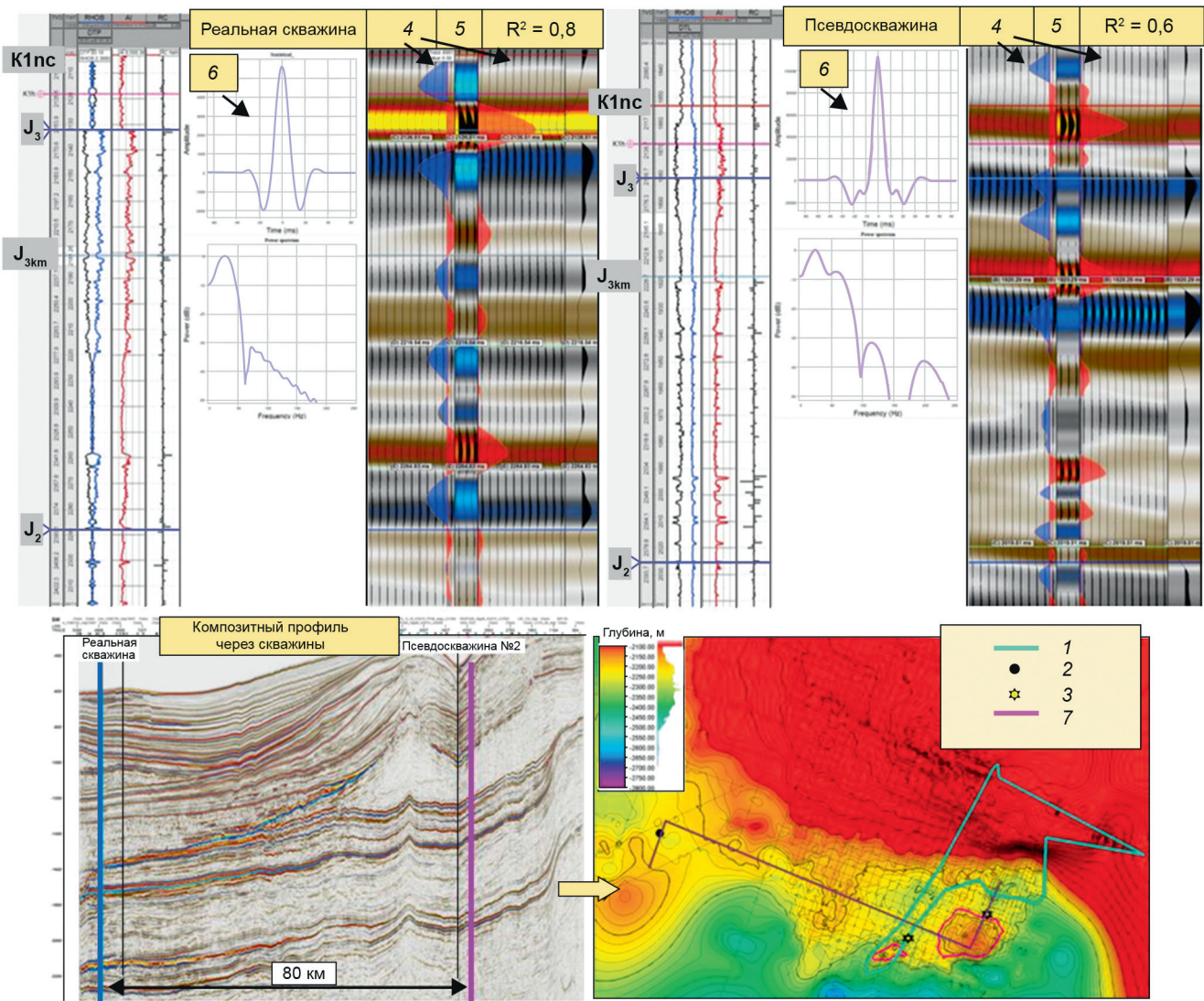


Рис. 6. Привязка реальной скважины и псевдоскважины № 2 к исследуемой территории сейсмических работ: 1 — контур останца (пояснения к кривым ГИС: RHOV — плотность, DTP- акустический каротаж, AI — акустический импеданс (AI=RHOV*DTP), RC — трасса коэффициентов отражения); 2 — реальная скважина; 3 — псевдоскважины; 4 — сейсмические данные; 5 — синтетические данные из скважины; 6 — импульс, сворачиваемый с трассой коэффициентов отражения для получения синтетической трассы, R2 — квадрат коэффициента корреляции сейсмических и синтетических данных, K1nc, J3, J3km, J2 — геологические отбивки; 7 — контуры структур

подробно рассмотрена схема оценки структурной неопределенности, с использованием детерминистических и стохастических методов.

В работах [Гржибовский, 2007, Орлов, 2004, Шаталов, 2016] показано, что точность определения какого-либо фактора можно вычислять аналитически, например, используя распределение Стьюдента. Измеряемой физической величиной в нашем случае была выбрана площадь ошибки структурных построений при влиянии одного из возможных факторов f , определяющих вероятность возникновения структурной неопределенности, полученная по n вариациям (полигонам).

Доверительный интервал площади ошибки структурных построений для фактора f в данной работе был рассчитан по следующей формуле Стьюдента (1):

$$\overline{\Delta S^{[f]}} = t_{p,f} \sqrt{\frac{1}{n} \frac{\sum_i w_i (S_i^{[f]} - S^{[f]})^2}{\sum_i w_i}} \tag{1}$$

где $\Delta S^{[f]}$ — доверительный интервал для ошибки структурных построений при влиянии фактора f , n — количество измерений (полигонов, оконтуривающих структуру), $S^{[f]}$ — средняя ошибка структурных построений при влиянии f фактора в i -й вариации (полигоне), S^k — средняя площадь ошибки при влиянии фактора f по всем вариациям (полигонам), $t_{p,f}$ — коэффициент Стьюдента, $f = n - 1$ — количество степеней свободы в распределении Стьюдента, p — доверительный интервал, w_i — вклад i -ой вариации данного фактора в неоднозначность структурных построений. В результате получаются значения доверительных интервалов определения ошибки

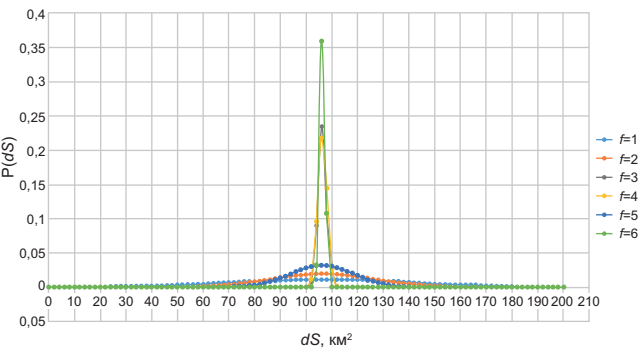


Рис. 7. Плотность распределения случайной величины площади dS по факторам неоднозначности структурных построений: $f=1$ — изменение скоростей; $f=2$ — редкая сеть 2D; $f=3$ — метод интерполяции; $f=4$ — радиус сглаживания; $f=5$ — качество корреляции отражающего горизонта; $f=6$ — краевой эффект; dS — изменение площади структуры; $P(dS)$ — плотность распределения случайной величины dS при неоднозначности структурных построений

структурных построений для каждого из факторов: $f=1$, для фактора локальных скоростных аномалий, латеральной изменчивости скоростей в слоях; $f=2$, для фактора редкой сетки 2D; $f=3$, для фактора метода интерполяции при картопостроении; $f=4$, для фактора сглаживания (радиус сглаживания); $f=5$, для фактора способа корреляции ОГ для построения структурных карт, выбора фазы; $f=6$, для фактора влияния краевого эффекта.

Таким образом, был оценен вклад каждого из факторов в оценку общей структурной неопределенности (табл. 1).

Вклад в неоднозначность структурных построений рассчитывался как величина в процентах, равная доли неопределенности, полученной по каждому из вышеперечисленных факторов, от общей неопределенности (суммы неопределенностей по всем факторам вместе). В свою очередь доля неопределенности, вносимая каждым из факторов в отдельности, была получена как изменение площади полигона по отношению к его исходной площади ($106\text{ км}^2=100\%$), полученной на одном из последних этапов переобработки данных. Как видно из представленной таблицы, процентный показатель вклада в неоднозначность структурных построений может варьироваться в достаточно широком интервале. Это происходит из-за того, что для построения структурных карт геофизики-обработчики рассчитывают скоростные модели и на каждом из этапов обработки корректируют их, применяя в т.ч. методы полноволновой инверсии (FWI) для учета особенностей верхней части разреза и томографии для корректировки скоростей в нижележащих интервалах. Соответственно, выбор той или иной версии скоростной модели будет напрямую влиять на изменение контура замыкания структур и, как следствие, на площадь внутри этого контура замыкания.

Таблица 1

Факторы, влияющие на возникновение структурных неопределенностей

Фактор, влияющий на оценку структурных неопределенностей	Доверительный интервал для ошибки оценки неопределенности, ΔS , км ²	Вклад в неоднозначность структурных построений, %
Латеральная изменчивость скоростей в слоях	40	≈ 25–32 %
Интервальные скорости (в средней части разреза, над целевым горизонтом)	25	≈ 18–25 %
Редкая сеть 2D	18	≈ 10–20 %
Качество корреляции ОГ для построения структурных карт, выбор фазы	15	≈ 10–15 %
Метод интерполяции при картопостроении и сглаживание (радиус сглаживания)	1,2	менее 10 %
Влияние краевого эффекта	менее 1	менее 7 %

На графиках, представленных на рис. 7, показаны плотности распределения величин площадей для каждого фактора. Для визуализации полученных результатов было выбрано Гауссово распределение (нормальный закон).

Нормальный закон подходит для использования в качестве первого приближения и эффективен в практической применении. Нормальное распределение имеет несколько областей применения (например, при анализе данных, моделировании случайных процессов, прогнозировании), в том числе при контроле качества анализируемой информации. При использовании данного распределения постулируется, что значения исследуемой непрерывной случайной величины формируются под воздействием очень большого числа независимых случайных факторов (в этой статье — факторов возникновения неопределенности), причем сила воздействия каждого отдельного фактора мала и не может превалировать среди остальных.

Для того, чтобы сделать оценку неопределенностей структурных построений законченной, авторами статьи было принято решение рассчитать неопределенность по глубине. Данный расчет проводился по стандартной формуле (2) для оценки прогнозной погрешности по глубине, приведенной в методическом пособии ВНИИ ГЕОФИЗИКА [Киселёв и др., 1984]:

$$\sigma_z = \sqrt{\frac{V^2 \cdot \sigma_t^2 + T^2 \cdot \sigma_v^2}{2}},$$

(2)

где V — среднее по карте значение средней скорости, T — среднее по карте (пикировке) значение двойного

времени t , $\sigma^2 t$ — дисперсия погрешностей времени, $\sigma^2 V$ — дисперсия погрешностей средней скорости.

Значение прогнозной погрешности по глубине для целевого горизонта поздней юры J3tt составило 54 м.

Оценка контуров нефтегазоперспективных структур по вероятностям P10-P90. Результаты оценки неопределенности структурных построений были использованы для уточнения вероятностного прогноза контуров структур и оценки перспектив P10-P90 по классификации [Cao, et al., 2017]. Прогнозные контуры замыкания структур, выявленных после учета погрешности структурной интерпретации сейсмических данных, сопоставлены с контурами P10, P50, P90, выделенными в рамках оценки ресурсов. Как видно из рис. 8, для P90 эти контуры практически совпали.

Заключение. После рассмотрения наиболее вероятных причин возникновения структурных неопределенностей можно сказать, что все перечисленные причины вносят большой вклад в неоднозначность структурных построений. Особенно большая невязка в структурных картах появляется при возникновении локальных скоростных аномалий, латеральной изменчивости скоростей в слоях, при учете редкой сети 2D и при использовании различных методов картопостроения и интерполяции. Значительные изменения в форме полигонов, построенных по контурам структур № 1 и № 2, заметны при тестировании способов корреляция ОГ для построения структурных карт, выборе фазы, радиуса сглаживания при интерполяции и учете краевого эффекта.

Также для оценки структурных неопределенностей и уточнения информации, ввиду отсутствия скважин на исследуемом участке, могут быть соз-

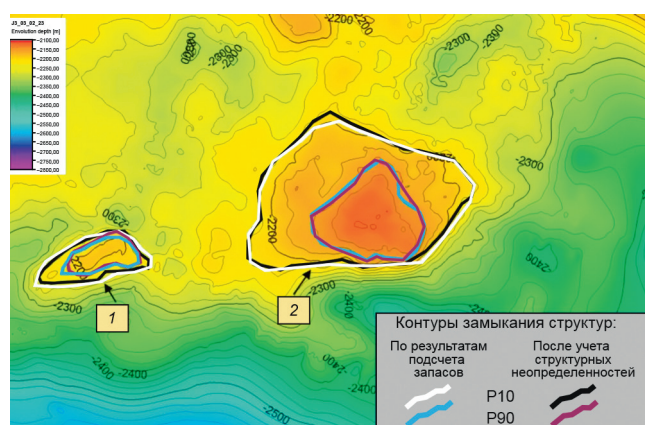


Рис. 8. Сопоставление контуров замыкания изучаемых структур, полученных по подсчету запасов и по результатам структурных построений № 1 и 2 (после учета структурных неопределенностей)

даны псевдоскважины, применение которых может быть полезно при оценке коэффициента отражения на границах опорных горизонтов и при уточнении диапазонов интервальных скоростей в слоях.

Оценка структурных неопределенностей важна для решения производственных задач. Для построения геологической модели необходимо правильно определить замыкание структур для карт вероятностей P10-P90, чтобы точно оценить площадь перспективной либо опасной структуры и учесть возможный геологический риск.

Благодарности. Авторы выражают признательность И.Д. Агапотову, М.С. Судаковой, С.Ю. Штуню, Т.Н. Кирьяновой, Н.В. Золотому, О.М. Быкадоровой, Е.В. Черняеву за предоставление данных для написания статьи, за ценный вклад в процесс работы над ней и стремление сделать ее качественной, интересной и актуальной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гржибовский А.М. Проверка распределения и описательная статистика. Архангельск: Экология человека, 2007. С. 52–58.

Киселёв В.С., Козлов Е.А., Захарова Г.А. Инструкция по оценке качества структурных построений и надежности выявленных и подготовленных объектов по данным сейсморазведки МОВ-ОГТ (при работах на нефть и газ). М., 1984. С. 7–15.

Куркин А.А. Оценка пространственного распределения погрешности структурных построений. Тюмень: ООО «НОВАТЭК НТЦ», Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2016. 20 с.

Орлов А.И. Математика случая. Вероятность и статистика — основные факты: Учебное пособие. М.: МЗ-Пресс, 2004. 110 с.

Шаталов К.В., Кириллова А.В. Применение критерия Стьюдента для оценки результатов межлабораторных сравнительных испытаний. Эталон. Стандартные образцы. 2016. 350 с.

Cao J., Shi Ya., Wang D., Zhang X. Acoustic Log Prediction on the Basis of Kernel Extreme Learning Machine for Wells in GJH Survey, Erdos Basin, College of Computer Science and Information Engineering, Tianjin University of Science and Technology, China, 2017. 6 с.

Messud J., Guillaume P., Lambar'e G. Massy. CGG. On velocity and migration structural uncertainties: A new approach using non-linear slope tomography. Published in arXiv.org // Research Gate, Engineering. Geology. 2020. 27 с.

Статья поступила в редакцию 13.10.2024, одобрена после рецензирования 30.10.2024, принята к публикации 23.05.2025