

Методика интерпретации и анализа морских сейсмоакустических данных (Северный Каспий)

©2023 И. В. Быстрова¹, Т. С. Смирнова¹, Р. Ф. Садретдинов^{2✉}

¹Астраханский государственный университет
Шаумяна пл., 1, 414000, Астрахань, Российская Федерация
²ООО «Моринжгеология», Красная набережная,
85, 414004, Астрахань, Российская Федерация

Аннотация

Введение: Описывается методика интерпретации морских сейсмоакустических данных, использованных с целью изучения инженерно-геологических условий фрагмента верхней части разреза Терско-Каспийского краевого прогиба.

Методика: Описаны принципы выделения основных групп данных, в которых структурные горизонты разбиваются на участки с разными физическими параметрами, образуя аномальные зоны типа «яркое пятно».

Результаты и обсуждения: Рассмотрены этапы интерпретации данных и анализ сейсмоакустических аномалий разных уровней Терско-Каспийского краевого прогиба северного Каспия. Выделены признаки, связанные с присутствием газа на сейсмоакустических записях. Большое внимание уделялось выделению аномальных зон. Каждая зона была приурочена к соответствующему горизонту отражений. Выполнено сопоставление с аналогичными ближайшими районами для выявления специфики геологической обстановки в верхней части разреза коры.

Выводы: Сформирована оптимальная последовательность интерпретации морских сейсмоакустических материалов, что позволило получить качественный итоговый материал, предназначенный для решения инженерно-геологических задач.

Ключевые слова: Терско-Каспийский краевой прогиб, морская сейсмоакустика, геологический разрез.

Для цитирования: Быстрова И. В., Смирнова Т. С., Садретдинов Р. Ф. Методика интерпретации и анализа морских сейсмоакустических данных (Северный Каспий) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2023. № 2. С. 73–81. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/73-81>

Введение

В настоящее время в акваториях Северного и Среднего Каспия работа по поиску месторождений нефти и газа стала одним из основных направлений деятельности отечественных и зарубежных компаний, что позволило в последние десятилетия от-

открыть ряд месторождений углеводородов в данном регионе.

Для успешной реализации добычи нефти и газа производятся инженерно-геофизические исследования верхних слоев осадочного чехла Каспийского моря. Решающая роль отводится сейсмоакустичес-



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Садретдинов Ринат Фаритович, e-mail: kuzya007-94@mail.ru

ким исследованиям.

Успешной постройки самоподъемной буровой установки предшествует качественный анализ данных сейсмограмм. Точное выявление и анализ акустических аномалий позволят предопределить катастрофические аварии при добыче углеводородов на море. Соответственно, для повышения эффективности геологоразведочных работ необходимо повысить качество научного прогнозирования с целью открытия новых месторождений нефти и газа. В данной работе представлены основные этапы сейсмической интерпретации, на основе этих этапов были выделены аномалии «яркое пятно» Терско-Каспийского краевого прогиба.

В инженерно-геологическом отношении структура Терского-Каспийского краевого прогиба характеризуется средней степенью изученности. Поверхность морского дна по данным опробования сложена ракушечным грунтом, мощность которого составляет до 0.8 м. Местами наблюдаются тонкие подвижные слои наилка. Основная масса рассматриваемого верхнего слоя донных грунтов по гранулометрическому составу соответствует гравийному грунту и песку гравелисто-ракушечному [1–3].

Верхнехвалынский горизонт (III_{hv2}) отображается как сейсмокомплекс с тонкой плотнасыщенной горизонтальной слоистостью, который контрастно отображается на высокочастотных разрезах. Согласно проведенным сейсмоакустическим исследованиям по профилю-рассечке, происходит уменьшение мощности горизонта в юго-восточном направлении по мере возрастания глубины моря. Отмечается выклинивание у основания уступообразного перегиба дна на глубине около 60 м в результате абразионного срезания в береговой зоне в период мангышлакской регрессии.

Нижнехвалынский горизонт (III_{hv1}) соотносится с сейсмоакустическим комплексом, характеризующимся горизонтальной слоистостью в районе структуры и проградационным наслоением отложений южнее на склоне. Подошва комплекса является поверхностью несогласия. В отложениях встречаются раковины моллюсков, соответствующие по видовому составу морской нижнехвалынской фауне с абсолютным возрастом от 27430±610 лет до 31800±420 лет.

Ательский горизонт (III_{at}) на сейсмоакустических разрезах отображается как клиноформная залежь. Подошва горизонта на структуре выделяется на временном уровне у отметки 125 мс на глубине около 100 м от среднего уровня моря. Горизонт на площадке сложен глинистым грунтом, в верхней половине суглинком, находящимся преимущественно в полутвердом состоянии, в нижней части – глиной мягкопластичной и тугопластичной [4, 5].

Методика исследований

Отправной точкой качественной интерпретации сейсмических данных одного канала - является пикировка первых вступлений. После ввода полевого ма-

териала в базу данных, формируется массив полевых материалов, при визуализации которых будут присутствовать различного рода регулярные волны и волны помехи. Ориентированная обработка этих данных, выполняемая в интерактивном режиме, улучшает качество исходного материала. В итоге на вход обрабатываемого блока поступают сеймотрассы, по которым будет выполняться поиск времён первых вступлений. На следующем этапе производят сглаживание трасс в скользящем окне заданной длины.

Все полевые материалы проходят через амплитудную коррекцию данных, к трассам применяются переменная во времени функция усиления. Каждый отсчет трассы умножается на его время и на постоянный коэффициент. Эта процедура позволяет компенсировать потери амплитуд при сферическом расхождении фронта волны. Также применяется экспоненциальная коррекция, которая умножает каждый отсчёт на экспоненциальную функцию, что частично позволяет компенсировать поглощение энергии волн в среде.

В процессе записи данных также регистрируются помехи, вызванные внешней средой (помехи от судна, погодная обстановка и т.д.) В итоге номинальная частота в 500 Гц дополняется низко и высокочастотными помехами, которые ухудшают качество материала. Для решения этой проблемы применяют частотную фильтрацию к каждой входной трассе. Алгоритм фильтрации действует в частотной области и выполняется путем умножения преобразование Фурье трассы на частотную характеристику фильтра. В поле выбора параметров фильтра вводят набор из четырех частот. Они определяют 0% (F1)-100% (F1') сигнала ФНЧ и 100% (F2')-0% (F2) сигнала ФВЧ.

Ввод параметров приведет к созданию полосового фильтра с полосовой пропускания 250 Гц – 400 Гц и 600 Гц – 750 Гц. Основной максимум выпадает на 500 Гц, основную несущую частоту при регистрации данных. В итоге будут погашены составляющие волны – помехи. Фильтр имеет трапециевидальную форму и относительно прост в понимании и исполнении.

Важной проблемой интерпретации является выделение кратных волн. В слоистой толще каждая отражающая граница порождает отраженную волну, которая проходит от источника к границе и далее от границы к точке наблюдения на поверхности. Такие волны называются *однократными*. Волны, прошедшие толщу, покрывающую некоторую отражающую границу, несколько раз, называются *полнократными* (рис. 1)

В процессе расчета фильтра для каждой конкретной трассы исходных данных помимо соответствующей ей трассы модели могут использоваться также несколько соседних трасс, поскольку может оказаться, что отдельные особенности текущей трассы похожи на фрагменты соседних трасс модели. Таким образом, использование соседних трасс может привести к более сильному вычитанию. С другой стороны, фильтры, полученные для соседних трасс, не должны

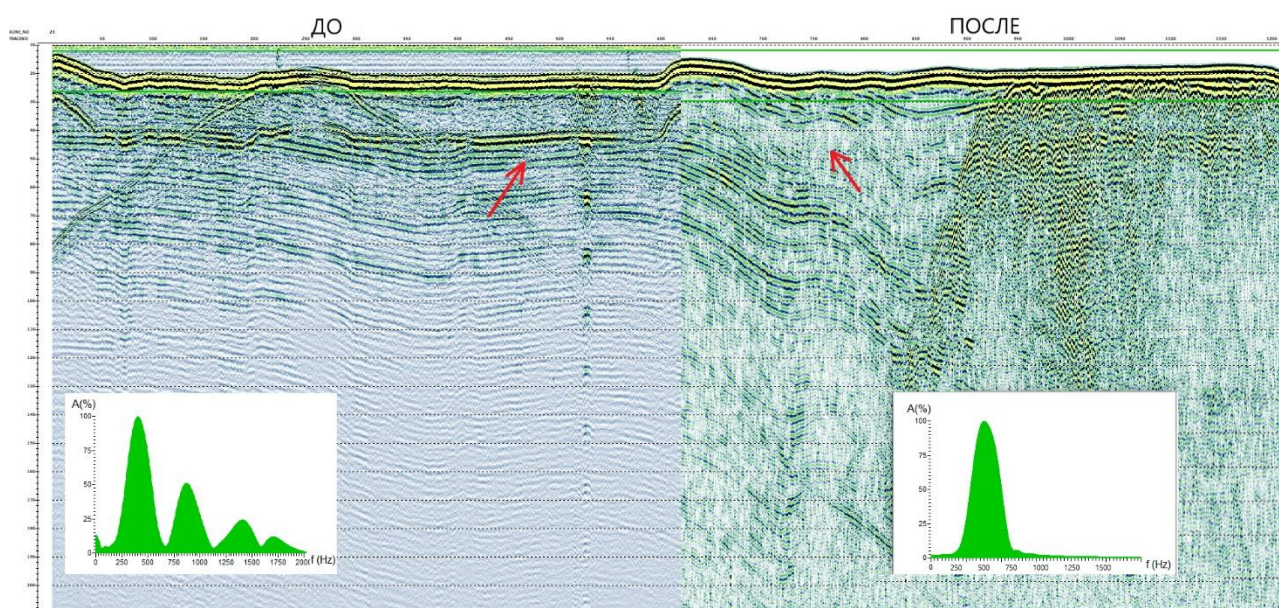


Рис. 1. Разница полевого и обработанного материала (красная стрелка – кратная волна).
[Fig. 1. Difference between field and processed material (red arrow - multiple wave).]

сильно отличаться друг от друга. Поэтому после расчета фильтров для каждой трассы исходных данных может оказаться полезным усреднить эти фильтры по нескольким соседним трассам материала.

Стратиграфическая интерпретация данных сейсмоакустического расчленения разреза осуществлена согласно проекту региональной стратиграфической схемы квартера Каспия [6]. По площади изысканий поэтажно выявляют сейсмоакустические аномалии и строятся гистограммы амплитуд RMS. Благодаря гистограмме выделяют места для безопасной постановки СПБУ. Назначенная точка геологоразведочной скважины занимает по отношению к вероятным скоплениям «свободного» газа более благоприятную позицию (рис. 2).

Обсуждение результатов

В пределах рассматриваемой зоны, как и в районе в целом, широко распространены сейсмоакустические аномалии с признаками, которые характерны для скоплений «свободного» («защемленного») газа, — одного из компонентов геологической среды, которые могут неблагоприятно воздействовать на инженерные сооружения. К признакам возможного присутствия газа на сейсмоакустических записях относятся:

- локальное резкое повышение амплитуды отраженного сигнала, так называемые «яркие пятна», и связанные с ним интенсивные кратные отражения;
- дифрагированные волны, сопровождающие амплитудные аномалии;
- значительное ослабление интенсивности волнового поля ниже по разрезу, вплоть до полной потери отражений.

Сочетания перечисленных факторов используются

при выделении и классификации сейсмоакустических аномалий. Для выявления и оконтуривания мест проявления аномалий в разрезе грунтовой толщи и в плане проведено визуальное изучение сейсмоакустических разрезов, проделаны процедуры обработки отраженного сигнала (в частности рассчитаны мгновенные амплитуды отражений), а также рассчитаны RMS-амплитуды отраженных сигналов во временных интервалах локализации аномалий [7–10].

Сейсмоакустические аномалии проявляются в широком временном интервале от 97 до 240 мс, на глубине от 30 до 150 м от поверхности дна.

Записями с источником «бумер» охватывается лишь самый верхний узкий интервал проявления аномалий. В целом же для выделения аномалий используются разрезы, полученные с источником «спаркер».

Аномалии локализуются на серии гипсометрических уровней в нижней части хвалынского комплекса, в ательском, верхнехазарском и, возможно, нижнехазарском комплексах грунтов. Проявления аномалий по времени регистрации на сейсмоакустических разрезах по глубине их положения относительно среднего уровня моря и морского дна, а также литолого-стратиграфическая позиция отображаемых ими возможных скоплений газа характеризует интенсивность RMS-амплитуд, рассчитанных во временных «окнах» локализации аномалий условных уровней «100 мс», «110 мс», «125 мс», «160 мс», «180 мс и «225 мс». О высокой интенсивности аномалий этого уровня говорят также результаты расчета RMS-амплитуд в «окне» проявления на временных разрезах рассматриваемых аномалий. Аномалии этого типа сосредоточены на участках разных размеров и формы, наиболее крупные из которых, достигающие 1000 м по длинной оси. Второй по размерам участок с аномалиями рассмат-

риваемого типа расположен на удалении более 750 м на юго-восток Терско-Каспийского краевого прогиба. Некоторое количество мелких аномалий этого уровня зафиксировано в южной половине [11, 12].

Результаты исследований

В грунтовой толще на исследованной площади распространен, преимущественно, один вид так называемых «геологических опасностей» - компонентов геологической среды, опасных, либо осложняющих постановку СПБУ и проходку верхних интервалов поисково-разведочной скважины и влияющих в целом на безопасность буровых работ – это скопления «свободного» газа в пределах сферы взаимодействия грунтового основания с сооружениями. Наиболее крупная область распространения *аномалий уровня «110 мс»* расположена в крайней юго-западной части прогиба. Небольшие по размерам участки расположены западнее, северо-восточнее и юго-восточнее на расстоянии 750 м и более от нее. Аномалии проявляются во временном интервале 108–120 мс, в 84–93 м от среднего уровня моря. В рассматриваемый аномальный уровень включены нечеткие по выразительности аномалии, проявляющиеся на уровне около 120 мс по обрамлению аномалий двух верхних уровней на юго-западе.

Обширные интенсивные пластовые *аномалии уровня «125 мс»*, имеющие в плане сложную конфигурацию границ, прослеживаются в западной половине зоны исследований. Аномалии проявляются во временном интервале 123–126 мс на глубине около 96–98 м от среднего уровня моря, на расстоянии 52–54 м от дна. Они представляют собой высокоамплитудные отражающие площадки с четкими границами, сопровождающиеся затяжками времени и ослаблением записи на нижележащих горизонтах.

Обширная пластовая, преимущественно амплитудная *аномалия уровня «160 мс»* залегает во временном интервале 155–163 мс, на глубине около 80 м от дна. Аномалия начинает проявляться севернее, расширяясь и усиливаясь, и единой областью простирается на юго-восток. Аномалия проявляется на расстоянии не менее 250 м. Значительная по площади аномалия этого уровня охватывает крайний северо-восток. Предположительно аномалия обусловлена скоплениями газа в значительном по площади слое песчано-раковинного состава в низах толщ грунтов, составляющих верхнехазарский комплекс [13, 14].

Аномалии уровня «180 мс» фиксируются в интервале 174–180 мс в 139–144 м от среднего уровня моря на глубине 95–100 м от дна. Аномалии примыкают к участкам небольших размеров с аномалиями уровней «100 мс», «110 мс», «115 мс» «160 мс». Они имеют разную интенсивность проявления на сейсмоакустических разрезах и не всегда имеют четкие границы. На сейсмограмме аномалий показаны наиболее четко проявленные фрагменты аномальных отражений уровня «180 мс» (рис. 2)

Аномалии уровня «220 мс» отмечены на небольших по площади участках в северной части. Они проявляются на глубине около 180 м от среднего уровня моря, соответственно, в 135 м от дна. К этой группе отнесены аномалии, которые вызывают некоторое ослабление записи на нижележащей отражающей границе уровня «225 мс». Аномалии уровня «220 мс» располагаются в поле аномалий уровня «225 мс», примыкая к аномалиям верхних уровней [15].

Эта аномалия соотносится с выдержанным горизонтом в верхней части нижнего хазара. Обширность аномалии уровня «220 мс», ее пластовый характер, плавность изменения интенсивности проявления и нечеткость восточной ее границы, свидетельствуют, вероятно, о ее литологической природе, с возможным небольшим газонасыщением в проницаемых грунтах.

Распределение аномалий разных уровней относительно центра площадки представляют собой потенциальную опасность газопроявления при бурении верхней части ствола поисково-разведочной скважин (рис. 3). Наиболее обширной и интенсивной аномалии уровня «125 мс» и в 200 м от ближайшего контура аномалии уровня «100 мс». Ближайшие границы интенсивных аномалий уровня «160 мс» располагаются на удалении 210 м к юго-западу и 225 м к северу от точки заложения скважины.

Повышенные амплитуды отражения на этом уровне приурочены к прослоям и линзам песка среди глин верхнехазарского комплекса и обусловлены, вероятно, литологическим фактором и незначительными по концентрации скоплениями газа.

Амплитудная картина RMS показывает ложное строение пласта которое характеризуется многочисленными зонами «опасностей».

Заключение

Из всего сказанного следует сделать вывод, что интерпретация данных сейсмоакустики требует выполнения определённой последовательности этапов, в которых каждый новый результат проистекает из предыдущего действия. Изложенная последовательность обработки сейсмоакустического сигнала позволяет уверенно исключать кратные волны и выделять волны, несущие полезную информацию о разрезе. Каждый случай уникальнейший и тогда в эту систему добавляются новые переменные. В связи с этим изыскания проведены поэтапно, с выявлением и картированием «геологических опасностей» и выделением места, безопасного для постановки СПБУ. Место, выбранное для постановки СПБУ, находится, согласно результатам сейсмоакустики, на удалении от широко распространенных на площадке скоплений газа. В пределах контура карты инженерно-геологических условий признаки присутствия в грунтах «свободного» газа проявлены на значительных глубинах от дна. Ближайшие контуры участков вероятного распространения газа прослеживаются на удалении 110–120 м от мест установки опорных колонн. Залежи

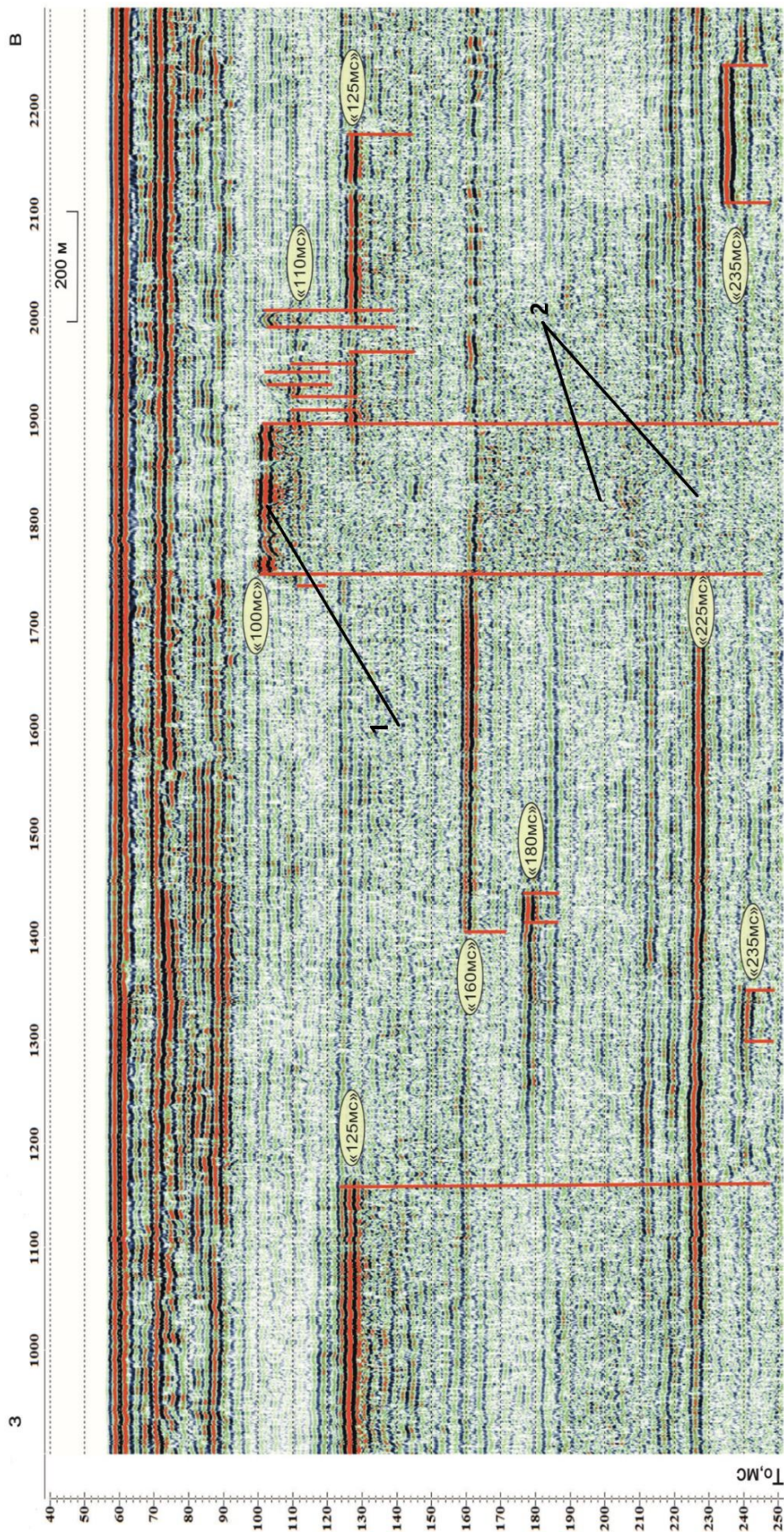


Рис. 2. Общий характер проявления на низкочастотных сейсмоакустических разрезах аномалий уровней «100 мс», «110 мс», «125 мс», «160 мс», «180 мс», «225 мс» и «235 мс» (1 – аномалия «яркое пятно», 2 – дифрагированные волны и ослабленный сигнал).
[Fig. 2. The general nature of the manifestation of anomalies of the levels "100 ms", "110 ms", "125 ms", "160 ms", "180 ms", "225 ms" and "235 ms" (1 - anomaly "bright spot", 2 - diffracted waves and attenuated signal) on low-frequency seismic sections.]

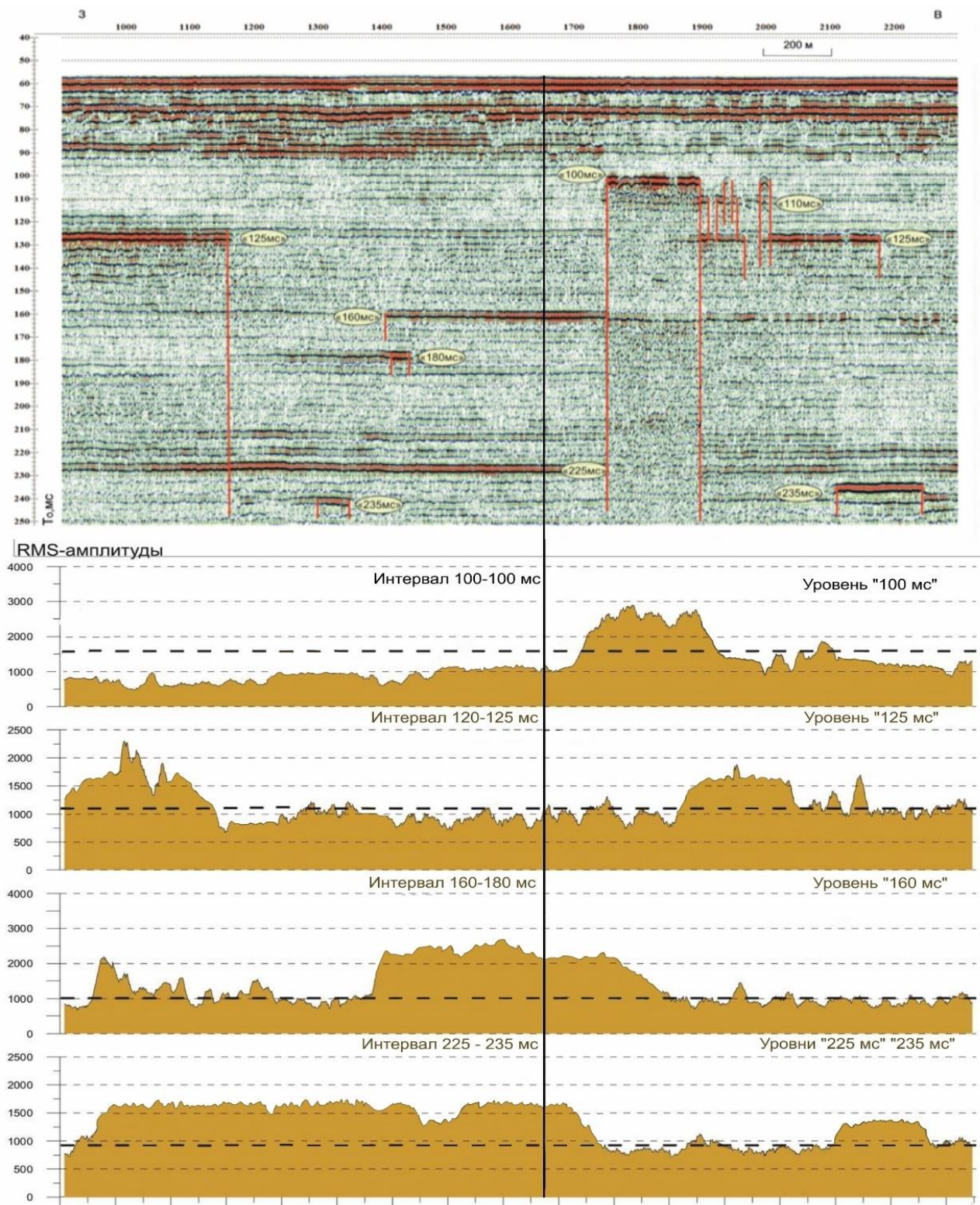


Рис. 3. Положения утвержденной точки заложения скважины относительно расположения сейсмоакустических аномалий, предположительно связанных со скоплениями газа.

[Fig. 3. Positions of the approved well location relative to the location of seismoacoustic anomalies, presumably associated with gas accumulations.]

характерных для района «слабых» грунтов повышенной мощности, располагаются на большом удалении от места установки опорных колонн.

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безродных Ю. П. Инженерно-геологические изыскания, выполняемые на акватории Каспийского моря // *Инженерные изыскания*. 2014. № 4. С. 54–58.
2. Falsaperla S., Hammer C., Langer H. Advantages and Pitfalls of Pattern Recognition Selected Cases in Geophysics. Elsevier. 2020. p. 330.
3. Калашник Ж. В. К вопросу о результатах геофизических исследований газовых карманов на Каспийском шельфе. *Наука и практика–2018*: сб. ст. всероссийской конференции. Астрахань: АГТУ, 2018. С. 10.
4. Kerusov I. N. Seismic sequence stratigraphy of the lower cretaceous sediments, middle Caspian // *Investing in the Future*. 2014. P. 466–470.
5. Лебедев Л. И. Геологическое строение и перспективы нефтегазоносности северного Каспия // *Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений*. 2001. № 11. С. 4–12.
6. Matusevich A. V., Urdabaev A. T., Atuov R. K., Melnichuk V. K., Murzagaliyev R. S., Askarov B. A., Moskalyov V. Y. The use of seismic data interpretation systems in technology of gravimetrical support of seismic survey in Caspian basin // *KazGeo 2010 – 1st International Geosciences Conference for Kazakhstan: Where Geoscience Meets the Silk Road*. 2010.
7. Mousa W. A. Advanced digital signal processing of seismic data. *Cambridge University Press, Cambridge*. 2019. P. 341.
8. Матвеева И. А., Скрипниченко В. Н. Опыт и особенности выполнения инженерно-геологических изысканий на шельфе северного Каспия. *Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации*: сб. ст. общероссийской конференции. Москва, 2018. С. 598–604.
9. Путанс В. А. Проявления современной флюидодинамической активности на Северном Каспии (геофизические данные) // *Океанологические исследования*. 2019. Т. 47. № 5. С. 98–115.
10. Путанс В. А. Каспийское море: разнообразие сейсмоакустических vhr-аномалий. *Геофизика и МГРИ. 100 лет вместе*: сб. ст. всероссийской конференции. М.: МГРИ, 2018. С. 179–184.
11. Сабанаев К. А., Черкашин В. И. Геологическое строение и нефтегазоносность осадочного комплекса российского сектора Каспийского моря // *ДИНЕМ Махачкала*, 2008. С. 11–15.
12. Сабилев М. А. Геофизические методы как резерв повышения экологической безопасности морского эксплуатационного бурения на Северном Каспии // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. 2009. № 9. С. 22–24.
13. Скрипниченко В. Н. Комплексные инженерно-геологические исследования и мониторинг донной поверхности в системе обеспечения экологической безопасности нефтегазопромысловых работ и транспортировки углеводородов на акватории Каспия. *Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации*: сб. ст. общероссийской конференции. Москва, 2019. С. 488–499.
14. Шалаева Н. В. Основы сейсмоакустики на мелководных акваториях. М.: Изд-во МГУ, 2010. С. 88–90.
15. Ussebayev B. Development of acquisition methodologies and technologies in the north Caspian sea seismic exploration // *1st EAGE Workshop on the Caspian Region*, Atyrau. 2011. DOI: <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20144354>

Methodology for the interpretation and analysis of marine seismoacoustic data (Northern Caspian)

©2023 I. V. Bystrova¹, T. S. Smirnova¹, R. F. Sadretdinov²✉

¹*Astrakhan State University, Shaumyana pl., 1,
Astrakhan, 414000, Russian Federation*

²*LLC Morinzhgeologiya, Krasnaya naberezhnaya, 85,
Astrakhan, 414004, Russian Federation*

Abstract

Introduction: The method for interpreting marine seismoacoustic data used to study the engineering-geological conditions of a fragment of the upper part of the section of the Terek-Caspian trough is described.

Materials and Methods: The principles for separating the main groups of data, in which structural horizons are divided into sections with different physical parameters, forming anomalous zones of the "bright spot" type were described.

Results and Discussions: The stages of data interpretation and analysis of seismoacoustic anomalies at different levels of the Terek-Caspian trough of the northern Caspian were considered. Features associated with the presence of gas on seismoacoustic records were identified. A lot of attention was paid to the identification of anomalous zones. Each zone was confined to the corresponding reflection horizon. A comparison with similar nearby areas was made for the identification of the specifics of the geological setting in the upper part of the crustal section.

Conclusions: An optimal sequence of interpretation of marine seismoacoustic data was formed, which allowed to obtain a high-quality final material intended for solving engineering-geological problems.

Keywords: Tersk-Caspian foredeep, seismoacoustics, anomaly, gas, sparker, boomer, seismogram, geological section.

For citation: Bystrova I. V., Smirnova T. S., Sadretdinov R. F. Methodology for the interpretation and analysis of marine seismoacoustic data (Northern Caspian) // *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Geologiya – Proceedings of Voronezh State University. Series: Geology*, 2023, no. 2, pp. 73–81. DOI: <https://doi.org/10.17308/geology/1609-0691/2023/2/73-81>

Conflict of interests: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

REFERENCES

1. Bezrodnih Ju. P. Inzhenerno-geologicheskie izyskaniya, vypolnjaemye na akvatorii Kaspijskogo morja [Engineering and geological surveys carried out in the Caspian Sea]. *Inzhenernye izyskaniya – Engineering studies*, 2014, vol. 4, pp. 54–58 (In Russ.)

2. Falsaperla S., Hammer C., Langer H. Advantages and Pitfalls of Pattern Recognition Selected Cases in Geophysics. *Elsevier*, 2020, vol. 3, 330 p.

3. Kalashnik Zh. V. K Voprosu o rezul'tatah geofizicheskikh issledovanij gazovykh karmanov na Kaspijskom shel'fe [On the issue of the results of geophysical studies of gas pockets



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

✉ Rinat F. Sadretdinov, e-mail: kuzya007-94@mail.ru

on the Caspian shelf]. *Nauka i praktika–2018*: sb. st. vserossijskoj konferencii [Science and Practice–2018], Astrakhan: AGTU publ., 2018, p. 10.

4. Kerusov I. N. Seismic sequence stratigraphy of the lower cretaceous sediments, middle Caspian. *European Association of Geoscientists & Engineers*, 2014, vol. 1, pp. 466–470. DOI: 10.3997/2214-4609.20140281

5. Lebedev L. I. Geologicheskoe stroenie i perspektivy neftegazonosnosti severnogo Kaspija [Geological structure and prospective oil and gas potential of the Northern Caspian]. *Geologija, geofizika i razrabotka nef tjanyh i gazovyh mestorozhdenij – Geology, geophysics and development of oil and gas fields*, 2001, vol. 11, pp. 4–12 (In Russ.)

6. Matusevich A. V., Urdabaev A. T., Atuov R. K., Melnichuk V. K., Murzagaliyev R. S., Askarov B. A., Moskalyov V. Y. The use of seismic data interpretation systems in technology of gravimetrical support of seismic survey in Caspian basin. *KazGeo*, 2010, vol. 1, p. 14. DOI: 10.3997/2214-4609.20145710

7. Mousa W. A. Advanced digital signal processing of seismic data. *Cambridge University Press*, 2019, vol. 1, p. 341. DOI: 10.1017/9781139626286

8. Matveeva I. A., Skripnichenko V. N. Opyt i osobennosti vypolnenija inzhenerno-geologicheskikh izyskanij na shel'fe Severnogo Kaspija [Experience and features of performing engineering and geological surveys on the shelf of the Northern Caspian Sea]. *Perspektivy razvitiya inzhenernyh izyskanij v stroitel'stve v Rossijskoj Federacii*: sb. st. obshherossijskoj konferencii [Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation], Moscow publ., 2018, pp. 598–604 (In Russ.)

9. Putans V. A. Proyavleniya sovremennoj flyuidodinamicheskoj aktivnosti na Severnom Kaspii (geofizicheskie dannye) [Manifestations of modern fluid dynamic activity in the Northern Caspian] *Okeanologicheskie issledovaniya – Okeanologicheskie issledovaniya*, 2019, I. 47, vol. 5, pp. 98–115 (In Russ.) DOI:10.29006/1564-2291.JOR-2019.47(5).8

10. Putans V. A. Kaspijskoe more: raznoobrazie sejsmoakus-

ticheskikh vhr-anomalij [Caspian Sea: variety seismic HR-anomaly's]. *Geofizika i MGRI. 100 let vmeste*: sb. st. vserossijskoj konferencii [Geophysics and MGRI. 100 years together], Moscow: MGRI publ., 2018, pp. 179–184 (In Russ.)

11. Sabanaev K. A., Cherkashin V. I. *Geologicheskoe stroenie i neftegazonosnost' osadochnogo kompleksa Rossijskogo sektora Kaspijskogo morja* [Geological structure and oil and gas potential of the sedimentary complex of the Russian sector of the Caspian Sea]. DINEM Mahachkala publ., 2008, pp. 11–15 (In Russ.)

12. Sabilev M. A. Geofizicheskie metody kak rezerv povysheniya jekologicheskoy bezopasnosti morskogo jekspluatacionnogo bureniya na Severnom Kaspii [Geophysical methods as a reserve for improving the environmental safety of offshore production drilling in the Northern Caspian] *Zashhita okruzhajushhej sredy v neftegazovom komplekse – Environmental protection in the oil and gas complex*, 2009, vol. 9, pp. 22–24 (In Russ.)

13. Skripnichenko V. N. Kompleksnye inzhenerno-geologicheskie issledovaniya i monitoring donnoj poverhnosti v sisteme obespecheniya jekologicheskoy bezopasnosti neftegazopromyslovyh rabot i transportirovki uglevodorodov na akvatorii Kaspija [Comprehensive engineering and geological studies and monitoring of the bottom surface in the system of ensuring environmental safety of oil and gas field operations and transportation of hydrocarbons in the Caspian Sea] *Perspektivy razvitiya inzhenernyh izyskanij v stroitel'stve v Rossijskoj Federacii*: sb. st. obshherossijskoj konferencii [Prospects for the development of engineering surveys in construction in the Russian Federation], Moscow publ., 2019, pp. 488–499 (In Russ.)

14. Shalaeva N. V. *Osnovy sejsmoakustiki na melkovodnyh akvatorijah* [Fundamentals of seismoacoustics in shallow waters]. Moscow: Moscow State University publ., 2010, pp. 88–90 (In Russ.)

15. Ussebayev B. Development of acquisition methodologies and technologies in the north Caspian Sea seismic exploration. *Ist EAGE Workshop on the Caspian Region*, 2011, vol. 1. DOI:10.3997/2214-4609.20144354

Быстрова Инна Владимировна, к.г.-м.н., доцент, Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: bystrova1948@list.ru; ORCID 0000-0001-7033-1022

Смирнова Татьяна Сергеевна, к.г.-м.н., доцент, Астраханский государственный университет, г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: juliet_23@mail.ru; ORCID 0000-0002-3697-9797

Садретдинов Ринат Фаритович, магистр, ведущий геофизик, ООО «Моринжгеология», г. Астрахань, Российская Федерация; e-mail: kuzya007-94@mail.ru; ORCID 0000-0002-7576-5230

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Inna V. Bystrova, PhD in Geol-Min., associate professor, Astrakhan State University, Astrakhan, Russian Federation; e-mail: bystrova1948@list.ru; ORCID 0000-0001-7033-1022

Tatyana S. Smirnova, PhD in Geol-Min., associate professor, Astrakhan State University, Astrakhan, Russian Federation; E-mail: juliet_23@mail.ru; ORCID 0000-0002-3697-9797

Rinat F. Sadretdinov, Master's degree, leading geophysicist, LLC "Morinzheologiya", Astrakhan, Russian Federation; e-mail: kuzya007-94@mail.ru; ORCID 0000-0002-7576-5230

Authors have read and approved the final manuscript.