
МҰНАЙ ГАЗ ИНЖЕНЕРИЯСЫ ЖӘНЕ ГЕОЛОГИЯ
OIL AND GAS ENGINEERING, GEOLOGY
НЕФТЕГАЗОВАЯ ИНЖЕНЕРИЯ И ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.8.05
МРНТИ 39.19.15

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2025-22-2-367-373>

Жирсанов А.В.,
магистр, ORCID ID: 0009-0003-1246-8065,
e-mail: a_kirsanov@kbtu.kz

¹Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан

**ПРИМЕНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОЙ ИНВЕРСИИ
ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ СТРОЕНИЯ ГАЗОНОСНЫХ
ОТЛОЖЕНИЙ НА МЕСТОРОЖДЕНИИ ШАГЫРЛЫ-ШОМЫШТЫ**

Аннотация

Территория Северного Устюрта, имеющая сложное геологическое строение, издавна привлекала внимание исследователей. В последние годы на территории Северного Устюрта произведено значительное количество сейсморазведочных работ, как 2Д, так и 3Д. В результате этих работ выполнены структурные построения по целевым отражающим горизонтам и достаточно полно изучено геологическое строение изучаемых участков по палеоген-триасовым комплексам отложений. Газовое месторождение Шагырлы-Шомышты расположено в пределах Северо-Устюртской впадины, северо-западной прибортовой зоны Косбулакского прогиба, открыто в 1959 г. В 2015 г. месторождение было введено в промышленную разработку. На ранних этапах освоения месторождения Шагырлы-Шомышты считалось, что оно приурочено к антиклинальной складке с четырьмя выраженными сводами. Однако по результатам проведенных геолого-геофизических работ на сегодня предложен и обоснован совершенно иной концептуальный взгляд на геологическое строение залежей месторождения. Это стало возможным благодаря применению, наряду со структурной, динамической интерпретации сейсмических данных, целью которой является прогноз коллекторских свойств и флюидонасыщения вмещающих пород. В статье приводятся результаты динамической интерпретации сейсморазведочных данных, которые и позволили более детально изучить строение, создать обоснованную геологическую модель и дать рекомендации относительно дальнейшей разработки месторождения.

Ключевые слова: Шагырлы-Шомышты, нефтегазообразование, палеогеновые отложения, эоцен, кумская свита, коллектор, горизонт, клиноформы, прогноз, оценка перспектив.

Введение

Нефтегазоносность Северного Устюрта, как и любого другого осадочного бассейна, определена генерационным потенциалом осадочного комплекса. Именно наличием нефтегазогенерирующих комплексов и структурно-тектоническими особенностями исследуемого бассейна определены перспективы Северного Устюрта [1]. Его чрезвычайно выгодное экономико-географическое положение обусловленное близостью к действующим трубопроводам, настоя-

тельно требует научного обобщения всего накопленного геолого-геофизического материала с целью выяснения геологического строения и перспектив нефтегазоносности этой территории для выбора дальнейшего направления поисковых работ и открытия новых газовых и нефтяных месторождений как в палеогеновых, так и в более древних отложениях [2].

Газовое месторождение Шагырлы-Шомышты расположено в пределах северного борта Северо-Устюртского прогиба. Открыто в 1959 г. скважиной 57 в процессе картировочного бурения, где из эоценовых отложений с глубины 350 м был получен приток газа. В 2015 г. месторождение было введено в промышленную разработку.

Целью применения динамической интерпретации сейсмических данных является прогноз коллекторских свойств и флюидонасыщения на определенных удалениях от пробуренных скважин. При этом должны быть оценены точность этого прогноза и риски, связанные с неопределенностью самих геофизических методов и геологических условий. Для этого проводится статистический анализ упругих свойств пород, вскрытых в скважинах, результаты которого применяются для вероятностного предсказания и классификации литологии и флюидов по результатам синхронной инверсии [1].

Материалы и методы

Клиноформы представляют собой погружающиеся в сторону бассейна хроностратиграфические слоистые поверхности, которые составляют доминирующий архитектурный компонент большинства последовательностей от дельты до континентального склона. Они обычно состоят из центральной части, падающей в сторону моря (foreset), и двух пологих частей, соответственно, восходящей (topset) и нисходящей (bottomset), хотя полная визуализация «полной» клиноформы в сейсмических данных в значительной степени зависит от сейсмического разрешения и акустического импедансного контраста через нее. Профили поперечного сечения клиноформ варьируются от плоских до сигмоидальных и вогнуто-восходящих (или «косяк») в ответ на воздействие окружающей среды, физиографию бассейна и средний размер зерен осадка. Поэтому геометрия поперечного сечения клиноформ используется для характеристики древних условий окружающей среды [3].

Практика прогнозирования литологии по данным сейсмических измерений широко распространена в геологоразведочных работах, проводящихся на территории Казахстана. Интерпретация прогноза литологии основывается на динамической инверсии, обеспечивающей оценку упругих характеристик изучаемой части геологического разреза по сейсмическим данным МОГТ [4].

Последовательность процедур синхронной инверсии (относительной и абсолютной) нерегулярных импульсных всплесков по данным до суммирования состоит из следующих элементов:

- ♦ выделение импульса;
- ♦ построение скоростной модели;
- ♦ геостатистическое глубинное преобразование;
- ♦ контроль качества сейсмической инверсии и производство;
- ♦ прогнозирование байесовской литологии/флюидов с использованием статистической модели зависимых от глубины физических свойств породы [5].

Результаты синхронной инверсии могут количественно интегрироваться с моделью статистических физических свойств пород, которые зависят от глубины и были определены путем анализа имеющейся скважинной каротажной информации, в результате чего получают «куб вероятности – неопределенности» литологии и/или флюидов. Например, кросс-плоты V_p/V_s в сравнении с акустическим импедансом коррелируются с инвертированным P -импедансом, S -импедансом и значениями плотности, полученными по результатам сейсмической инверсии по каждому дискретному значению трассы для того, чтобы получить куб данных, где амплитуды будут представлять 80% вероятность насыщенности газом. Также можно прогнозировать

ряд прочих классов/фаций. Также есть возможность изучать байесовскую (статистическую) литологию и прогнозировать флюидонасыщение в рамках схемы инверсии (а не после ее завершения), однако при этом сильно возрастают вычислительные затраты.

Конечной целью количественной инверсии является прогнозирование литологии и флюидного содержания вдали от скважин. Данный процесс должен принимать во внимание все имеющиеся в наличии данные, а не только сейсмические или скважинные данные. Геологическое понимание региона позволит отобрать значимые сейсмические атрибуты и в результате получить соответствующие действительности продукты инверсии [6].

Результаты и обсуждение

Для изучения строения продуктивной части разреза была построена модель. Для этого использовались сейсмические данные МОГТ 3Д и данные сейсмической инверсии куба параметра V_p/V_s . Необходимо отметить, что данные сейсмической инверсии позволили лучше понять систему осадконакопления в продуктивной части разреза. На рисунке 1 представлен временной разрез (inline 2560), разрез после сейсмической инверсии и предложенная модель согласно полученной «картине».

Как видно из предложенной модели, основной продуктивный комплекс развивался в несколько основных этапов – тракт низкого стояния уровня моря, трансгрессивный тракт, тракт высокого стояния уровня моря. Также на рисунке показано и направление движения береговой линии, справа от рисунка приводится схема расположения скважин с рассматриваемым профилем (нанесен красным цветом).

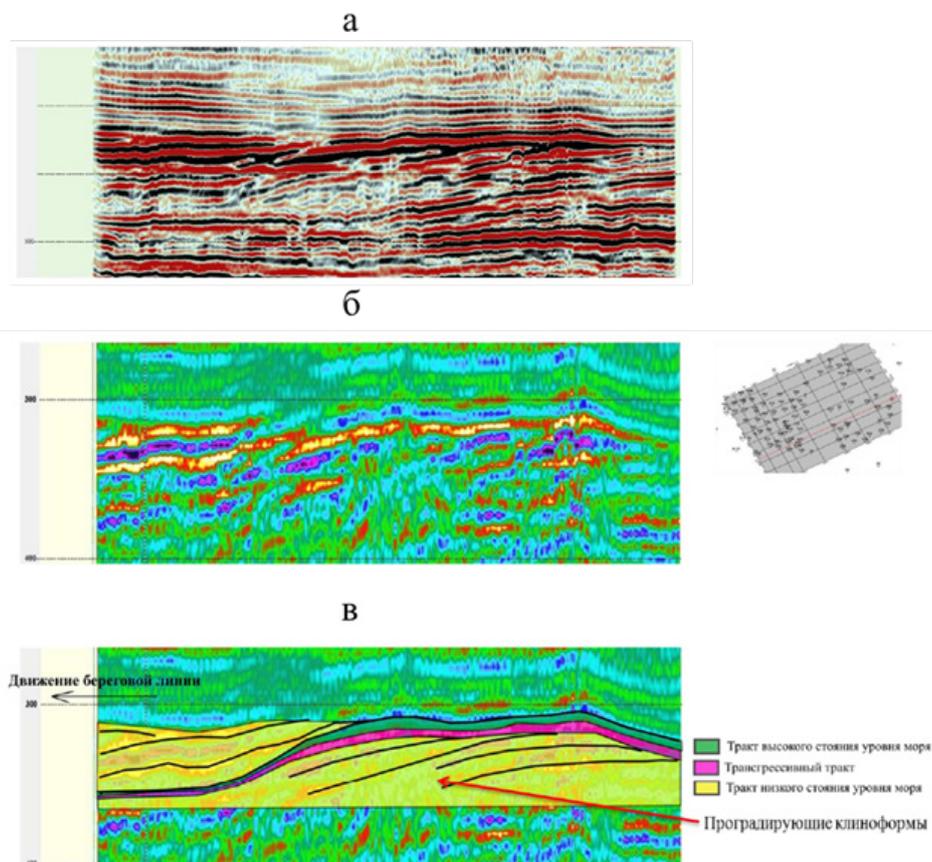


Рисунок 1 – Inline 2560: а – исходный сейсмический разрез;
б – разрез после сейсмической инверсии (параметр V_p/V_s); в – модель

Тракт низкого стояния формируется при падении уровня моря до наименьшего состояния и осушения шельфа. Основная седиментация происходит за счет быстрого транспорта обломочного материала в область подножия континентального склона (состояние систем трактов низкого раннего стояния). При этом осадконакопление осуществляется в глубоких частях бассейна, где формируется донный конус выноса (basin-floor fan). Его накопление связано с действием эрозионных каналов на склоне и врезанных долин на шельфе. Склоновый конус выноса (slope fan) представлен зерновыми потоками, формирующимися в средней части или ближе к основанию склона. После максимума падения уровня моря, в условиях значительно осушенного шельфа крупномасштабный транспорт обломочного материала с суши приводит к засыпанию области континентального склона в виде проградации (продвижения вперед) клиноформных комплексов в основном в области континентального склона и его подножия (состояние систем трактов позднего низкого стояния).

Тракт низкого стояния образуется за счет того, что скорость привноса с берега осадочного материала превышает скорость поднятия уровня моря, благодаря чему происходит регрессия и обмеление бассейна. Тракт низкого стояния всегда формируется в результате регрессии и поэтому имеет геометрию проградировавшихся клиноформ [7].

Трансгрессивная система трактов формируется при подъеме уровня моря над бровкой шельфа и условий общей трансгрессии. Осадочный материал откладывается на шельфе, и фронт седиментации движется в сторону континента в виде трансгрессивной серии.

Так как наибольший интерес представляют именно проградировавшиеся клиноформы, то была предпринята попытка разделения их на отдельные горизонты. На рисунке 2 представлен разрез параметра V_p/V_s по линии Inline 2306 с нанесением основных семи горизонтов, характеризующих продуктивную часть.

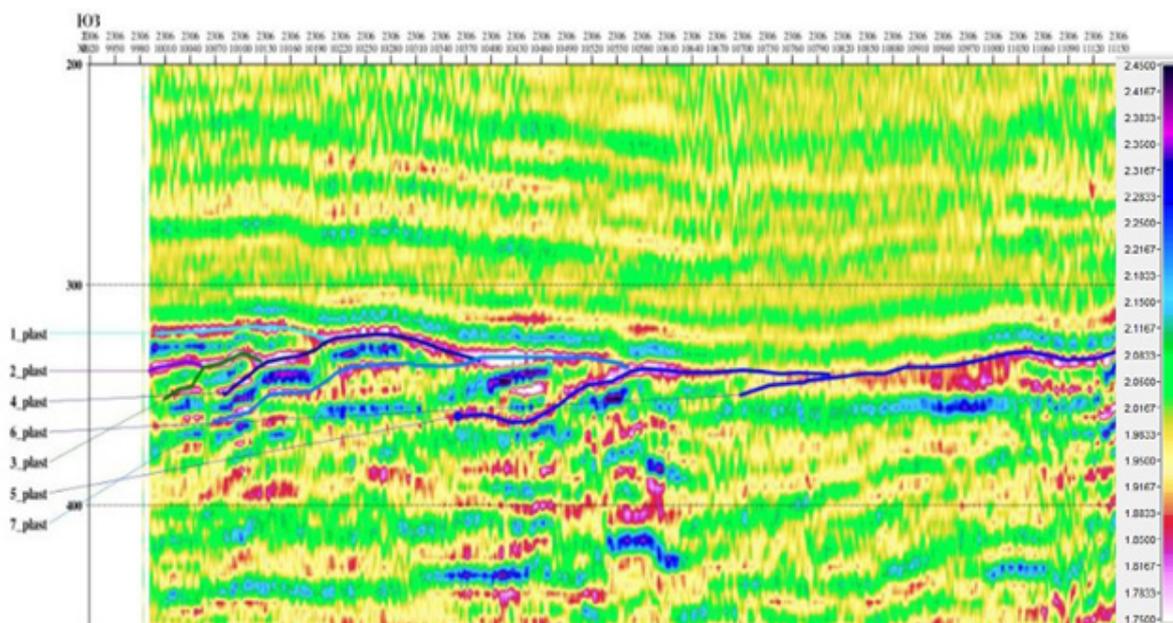


Рисунок 2 – Разрез параметра V_p/V_s по линии Inline 2306.
Разделение продуктивной части на горизонты согласно выбранной модели

Площадь исследований характеризуется высокой перспективностью в нефтегазоносном отношении. В результате интерпретации данных сейсморазведки, ГИС и бурения были построены структурные карты по выделенным продуктивным горизонтам. Перспективные локальные объекты были выделены на основании совместного анализа структурной интерпретации и динамического анализа. На картах и разрезах 3Д и 2Д атрибута V_p/V_s по целевым гори-

зонтам были выделены объекты с повышенными коллекторскими свойствами. Рекомендовано бурение разведочных скважин на этих перспективных объектах.

Дополнительный интерес должны представлять и отложения нижнего мела, юры. Помимо благоприятной для этого обстановки осадконакопления, в пределах исследуемого участка выявлены объекты, которые имеют положительный структурный фактор, а также данные объекты выделяются аномалиями в поле сейсмических атрибутов.

Касательно обстановки осадконакопления, из открытых источников известно, что осадки накапливались при господстве морского режима, но не продолжительное время. Вскоре морской режим сменился континентальным с середины готеривского времени. Шло накопление песчано-глинистых пород с прослоями аргиллитов буровато-красного цвета в условиях слабо-восстановительной среды.

Помимо структурного фактора, результаты синхронной инверсии на качественном уровне могут помочь в выделении участков наилучших коллекторских свойств, а в лучшем случае и определить возможную смену насыщения от воды к углеводородам.

Заключение

Проведение комплексных геолого-разведочных работ, сочетающих изучение новых материалов сейсморазведки МОГТ 2Д, 3Д и ранее полученных материалов ГИС и бурения, позволило решить задачи изучения детального геологического строения продуктивных горизонтов месторождения Шагырлы-Шомышты и составить прогноз распространения коллекторов с применением синхронной инверсии.

На основе анализа упругих свойств по скважинным данным были сделаны заключения о том, что в данном случае (исходя из имеющихся исходных данных по скважинам) лучшим индикатором, чувствительным к литологии, является атрибут соотношения V_p/V_s .

По результатам динамической интерпретации получены кубы и разрезы 3Д и 2Д атрибутов соотношения V_p/V_s . Для изучаемого кайнозойского, мезозойского и палеозойского комплекса на участке работ было проведено изучение структуры по семи опорным горизонтам. Для продуктивной части разреза в палеогене были построены структурные карты и карты атрибутов по семи продуктивным горизонтам.

По результатам выполненных работ на площади исследований для целевых горизонтов на основе комплексного анализа результатов структурной и динамической интерпретации было уточнено геологическое строение площади Шагырлы-Шомышты и выделены перспективные для дальнейшего изучения объекты.

ЛИТЕРАТУРА

1 Мырзаш Е.М.; исполн.: Кудайкулов Х.М., Кирсанов А. и др. Отчет о результатах переобработки и переинтерпретации данных сейсморазведки 3Д с выполнением инверсионных преобразований на месторождении Шагырлы-Шомышты с целью глубокого понимания геологии и разработки планов по освоению и проектированию разработки месторождения / ТОО «Проектный институт «ОПТИМУМ»: рук. – Алматы, 2016. – 212 с. № ГР 56062. – Инв. № 209955.

2 Булекбаев З.Е., Гарецкий Р.Г. и др. Геологическое строение и газонефтеносность Северного Приаралья и Северного Устюрта. – М: Наука, 1970. – 163 с.

3 Patruno S., Gary J. Hampson, Christopher A-L. Jackson. Quantitative characterisation of deltaic and subaqueous clinoforms // *Earth-Science Reviews* – 2015. – No 3. – P. 79–119.

4 Скорнякова Е.Г., Титаренко И.А., Мифтахов. Р.Л. Новый вероятностный алгоритм решения обратной динамической задачи сейсморазведки // *Недра Поволжья и Прикаспия*. – 1997. – 14 с.

5 Hampson D.P., Russell B.H., Bankhead B. Simultaneous inversion of pre-stack seismic data // *SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts*. – 2005. – P. 1633–1637.

6 Чныбаева Д.М. Вероятностный прогноз литологии по сейсмическим данным в условиях слабой изученности скважинами // Вестник Казахстанско-Британского технического университета. – Алматы, 2023. – № 4(20). – С. 137–143.

7 Габдуллин Р.Р., Кобаевич Л.Ф., Иванов А.В. Секвентная стратиграфия: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 113 с.

REFERENCES

1 Kudajkulov, A.V. Kirsanov et al., Otchet o rezul'tatah pereobrabotki i pereinterpretacii dannyh sejsmorazvedki 3D s vypolneniem invercionnyh preobrazovanij na mestorozhdenii Shagyrlы-Shomyshy s cel'ju glubokogo ponimaniya geologii i razrabotki planov po osvoeniju i proektirovaniju razrabotki mestorozhdenija (Almaty, «Proektnyj institut «OPTIMUM» LLP, 2016), 212 p. [in Russian].

2 Bulekbaev, R.G. Gareckij et al., Geologicheskoe stroenie i gazoneftenosnost' severnogo Priaral'ja i Severnogo Ustjurtа (Moscow: Nauka, 1970), 163 p. [in Russian].

3 Patruno S., Gary J. Hampson and Christopher A-L. Jackson, Earth-Science Reviews 3, 79–119 (2015). <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2015.01.004>.

4 Skornjakova E.G., Titarenko I.A. Sejsmopetrofizicheskoe testirovanie geologicheskogo razreza. Nedra Povolzh'ja i Prikaspija, 14 p. (1997) [in Russian].

5 Hampson D.P., Russell B.H., Bankhead B. Simultaneous inversion of pre-stack seismic data. SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts, pp. 1633–1637 (2005).

6 Chnybayeva D.M. Herald of the Kazakh-British technical university 20, 137–143 (2023) [in Russian]. <https://doi.org/10.55452/1998-6688-2023-20-4-137-143>.

7 Gabdullin R.R., Kobaевич L.F. and Ivanov A.V. Sekventnaja stratigrafija: Uchebnoe posobie (Moscow: MAKS Press, 2008), 113 p. [in Russian].

¹КИРСАНОВ А.В.,

магистр, ORCID ID: 0009-0003-1246-8065,

e-mail: a_kirsanov@kbtu.kz

¹Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы қ., Қазақстан

ШАҒЫРЛЫ-ШӨМІШТІ КЕҢЕСІНДЕГІ ГАЗ БАР КЕНДЕРДІҢ ҚҰРЫЛЫМ ЕРЕКШЕЛІКТЕРІН АНЫҚТАУ ҮШІН СЕЙСМИКАЛЫҚ ИНВЕРСИЯНЫ ҚОЛДАНУ

Аңдатпа

Күрделі геологиялық құрылымы бар Солтүстік Үстірт аумағы бұрыннан зерттеушілердің назарын аударып келеді. Соңғы жылдары бұл аумақта 2D және 3D сейсмикалық барлау жұмыстары кең көлемде жүргізілді. Осы жұмыстардың нәтижесінде мақсатты горизонттарға құрылымдық талдау жасалып, палеоген мен триас шөгінді кешендері негізінде зерттелетін аумақтардың геологиялық құрылымы жеткілікті дәрежеде зерттелді. Шағырлы-Шөмішті газ кен орны – Қосбұлақ ойпатының солтүстік-батыс шетінде, Солтүстік Үстірт ойпатының шегінде орналасқан және 1959 ж. ашылған. 2015 ж. кен орны коммерциялық пайдалануға берілді. Шағырлы-Шөмішті кен орнының игерілуінің алғашқы кезеңдерінде ол төрт доғадан тұратын антиклинальді қатпармен шектелген деп есептелді. Алайда қазіргі уақытқа дейін жүргізілген геологиялық-геофизикалық зерттеулер нәтижесінде кен орнының геологиялық құрылымына мүлде жаңа тұжырымдамалық көзқарас ұсынылып, негізделді. Бұл, сейсмикалық мәліметтерді құрылымдық және динамикалық интерпретациялаумен қатар, қабат қасиеттерін және негізгі жыныстардың сұйықтыққа қанығуын болжауға мүмкіндік берген сейсмикалық инверсияны қолданудың арқасында мүмкін болды. Мақалада сейсмикалық мәліметтерді динамикалық интерпретациялау нәтижелері ұсынылып, олардың көмегімен құрылымды терең зерделеуге, негізделген геологиялық модель құруға және кен орнын одан әрі дамытуға қатысты ұсыныстар беруге мүмкіндік жасалған.

Тірек сөздер: Шағырлы-Шөмішті, мұнай-газ қабаты, палеоген кен орындары, эоцен, құм қабаты, қабат, горизонт, клиноформалар, болжам, перспективаларды бағалау.

¹Kirsanov A.V.,

Master, ORCID ID: 0009-0003-1246-8065,

e-mail: a_kirsanov@kbtu.kz

¹Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

**APPLICATION OF SEISMIC INVERSION TO IDENTIFY
STRUCTURAL FEATURES OF GAS-BEARING
DEPOSITS AT THE SHAGYRLY-SHOMYSHTY FIELD**

Abstract

The territory of Northern Ustyurt, which has a complex geological structure, has long attracted the attention of researchers. In recent years, a significant amount of seismic exploration work, both 2D and 3D, has been carried out on the territory of Northern Ustyurt. Structural constructions were made for target reflecting horizons and the geological structure of the studied areas for the Paleogene-Triassic sediment complexes was studied quite fully. The Shagyrlly-Shomyshty gas field is located within the North Ustyurt Depression, the northwestern marginal zone of the Kosbulak trough, was discovered in 1959. In 2015 the field was put into industrial development. At the early stages of development of the Shagyrlly-Shomyshty deposit, it was believed that it was confined to an anticline fold with four pronounced arches. However, based on the results of geological and geophysical work carried out to date, a completely different conceptual view of the geological structure of the deposits has been proposed and substantiated. This became possible due to the use, along with structural, of dynamic interpretation of seismic data, the purpose of which is to predict reservoir properties and fluid saturation of the host rocks. The article presents the results of dynamic interpretation of seismic data, which allowed for a more detailed study of the structure, the creation of a substantiated geological model and recommendations for further development of the field.

Keywords: Shagyrlly-Shomyshty, oil and gas formation, Paleogene deposits, Eocene, Kum formation, reservoir, horizon, clinoforms, forecast, prospects assessment.

Дата поступления статьи в редакцию: 17.12.2024