

УДК 550.812.14

DOI 10.47148/0016-7894-2024-4-19-31

## Выявление перспективных объектов в сложных геолого-геофизических условиях соляно-купольной тектоники Прикаспийской впадины

© 2024 г. | К.Б. Сокулина<sup>1</sup>, С.Е.Войтович<sup>2</sup>, П.Ф. Попова<sup>3</sup>, Г.Ф. Хуснуллина<sup>1</sup>, Е.В. Сивожелезов<sup>3</sup><sup>1</sup>ООО «ЦГМ НИР Поволжья»; Саратов, Россия; sokulinakb@cgmnr.ru; khusnullina@cgmnr.ru;<sup>2</sup>Татарское геологоразведочное управление ПАО «Татнефть» им. В. Д. Шашина; Казань, Россия; voytovich@tatneft.ru;<sup>3</sup>ООО «ТЕРРАПОД»; Саратов, Россия; popovapf@cgmnr.ru; ev@cgmnr.ru

Поступила 16.11.2023 г.

Доработана 16.05.2024 г.

Принята к печати 27.06.2024 г.

**Ключевые слова:** соляно-купольная тектоника; геолого-геофизическая информация; подсолевой комплекс отложений; купол; мульда; тектоническое нарушение; ловушки.

**Аннотация:** В статье отражена необходимая информация для выявления нефтегазоперспективных объектов по результатам сейсморазведочных работ в сложных геолого-геофизических условиях соляно-купольной тектоники Прикаспийской впадины. Приведены причины неустойчивости решения задачи по определению глубин до кровли перспективных подсолевых и надсолевых отложений, зависящие от многих факторов. Показано, что одним из основных факторов является корректное изучение резкой вертикальной и латеральной изменчивости соленосного и надсолевого комплексов пород, перекрывающих подсолевые отложения. В статье показано, что для решения задач соляно-купольной тектоники в условиях Прикаспийской впадины данных одной сейсморазведки недостаточно, необходимо привлечение дополнительных методов геофизики, поскольку решение вопросов происхождения и структуры геологических объектов лишь на основе сейсмических материалов в условиях Прикаспийской впадины часто приводит к ошибкам. В связи с этим необходимо проведение комплекса геофизических исследований и кроме сейсморазведочных данных использовать геопотенциальные поля — грави- и магниторазведку, которые позволят уточнить конфигурацию соляных куполов и как следствие помогут более надежно выделить ловушки углеводородов и уменьшить риски при бурении. Изложенный материал — попытка авторов лишний раз акцентировать основные ошибки при выделении подсолевых и надсолевых отложений, чтобы обратить внимание геологов и геофизиков на основные негативные факторы, возникающие при выявлении ловушек углеводородов в сложных геолого-геофизических условиях.

Для цитирования: Сокулина К.Б., Войтович С.Е., Попова П.Ф., Хуснуллина Г.Ф., Сивожелезов Е.В. Выявление перспективных объектов в сложных геолого-геофизических условиях соляно-купольной тектоники Прикаспийской впадины // Геология нефти и газа. – 2024. – № 4. – С. 19–31. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-4-19-31.

## Salt dome tectonics in Caspian Basin: identification of exploration targets in complicated geological and geophysical conditions

© 2024 | K.B. Sokulina<sup>1</sup>, S.E.Voitovich<sup>2</sup>, P.F. Popova<sup>3</sup>, G. F. Khusnullina<sup>1</sup>, E.V. Sivozhelezov<sup>3</sup><sup>1</sup>LLC «TcGM NIR Povolzhya»; Saratov, Russia; sokulinakb@cgmnr.ru; khusnullina@cgmnr.ru;<sup>2</sup>Tatar Geology and Prospecting Administration of TATNEFT; Kazan, Russia; voytovich@tatneft.ru<sup>3</sup>LLC «TERRAPOD»; Saratov, Russia; popovapf@cgmnr.ru; ev@cgmnr.ru;

Received 16.11.2023

Revised 16.05.2024

Accepted for publication 27.06.2024

**Key words:** salt dome tectonics; geological and geophysical information; subsalt sequence; dome; syncline; fault; trap.

**Abstract:** The paper presents the information necessary for identification of oil and gas promising objects using the results of seismic exploration in complicated geological and geophysical settings of salt-dome tectonics in Caspian Basin. The authors discuss the reasons of instability of determination of promising subsalt and suprasalt deposits depth, which depend on many factors. It is shown that one of the key factors is proper investigations of dramatic vertical and lateral changes in salt-bearing and suprasalt rock associations overlying the subsalt deposits. The authors demonstrate the seismic exploration alone is not enough to solve the salt-dome tectonics problems in the Caspian Basin. It is necessary to use the additional geophysical methods, because answering the questions on geological object origin and structure on the basis of seismic data only is prone to mistakes. Therefore, it is necessary to involve a number of geophysical studies and, besides seismic data, to use geopotential (gravity and magnetic) fields, which allow clarifying geometry of salt domes and, as a consequence, will help in more reliable identification of hydrocarbon traps and reducing drilling risks. The material presented herein is the authors attempt to once again emphasize the key mistakes of subsalt and suprasalt deposits delineation. They are drawing



attention of geologists and geophysicists to the main negative factors arising during hydrocarbon trap identification in complicated geological and geophysical conditions.

For citation: Sokulina K.B., Voitovich S.E., Popova P.F., Khusnullina G.F., Sivozhelezov E.V. Salt dome tectonics in Caspian Basin: identification of exploration targets in complicated geological and geophysical conditions. *Geologiya nefti i gaza*. 2024;(4):19–31. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-4-19-31. In Russ.

## Введение

Астраханско-Калмыцкий сектор Прикаспийской впадины в тектоническом плане расположен на западной периферии Астраханского свода, в зоне его сочленения с Сарпинским прогибом на западе и зоной Южно-Астраханских поднятий на юге (рис. 1).

Исключительная сложность строения рассматриваемого района объясняется его приуроченностью к зоне сочленения древней докембрийской Русской плиты с молодыми эпигерцинскими плитами — Скифской и Туранской [1, 2].

Астраханский свод является одной из крупных структур в подсолевом комплексе Прикаспийской впадины и приурочен к ее южной внутренней прибортовой части с системой выступов фундамента, образующих Астраханско-Актюбинскую дугообразную цепочку поднятий [1, 2].

Свод представляет собой поднятие докембрийского фундамента, перекрытое толщей девонских и каменноугольных отложений общей мощностью более 3 км. В молодых отложениях (от перми до четвертичного периода) свод не отображается.

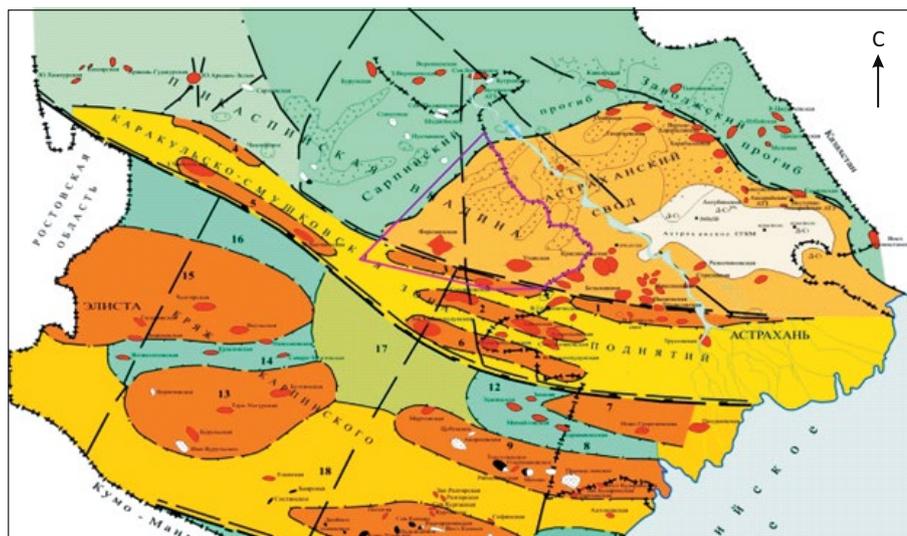
В истории развития рассматриваемого района выделено несколько тектонических рубежей. Пер-

вый связан с окончанием становления кристаллического фундамента, второй — с формированием карбонатного подсолевого комплекса, третий — с накоплением соленосной и мезозой-кайнозойской осадочной толщ. Заключительные тектонические события связаны с началом альпийской фазы складчатости, когда произошли последние региональные горизонтальные подвижки с образованием соляных структур в верхнемеловых и палеоценовых отложениях [3].

До сих пор в российском секторе Прикаспийской впадины не выделено ни одной надежной структуры. Актуальность данной проблемы вполне очевидна, поскольку современные методы исследования сейсморазведки пока не способны успешно решать задачи выделения подсолевых объектов в условиях существования соляно-купольного «экрана». При этом следует учитывать, что на территории впадины подсолевые структурные осложнения должны отражаться в первую очередь положением соляных тел, сложенных кунгурскими, наиболее пластичными породами. При прогнозе структурных осложнений подсолевого ложа необходимо анализировать характер залегания надсолевых отложений, выполняющих мульды и прогибы [4, 5].

Рис. 1. Тектоническая схема Астраханско-Калмыцкого Прикаспия (под ред. Н.И. Воронина, И.А. Миталева, 1995)

Fig. 1. Tectonic framework of Astrakhan-Kalmytsky Caspian region (edited by N.I. Voronin, I.A. Mitalev, 1995)



1

Масштаб 1 : 1 650 000

1 — площадь исследований

Scale 1: 1 650 000

1 — study area

### Перспективы выделения объектов для поиска ловушек УВ, связанных с соляно-купольной тектоникой

Геолого-геофизические исследования территории Астраханского свода начались в 1950-х гг. По данным аэромагнитной и гравиметрической съемок (1953–1954 гг.) в этом районе был намечен выступ кристаллического фундамента. Региональные работы КМПВ, проведенные в 1960–1964 гг., подтвердили существование этого выступа и отвечающего ему в подсолевых отложениях крупного сводового поднятия площадью более 11 000 км<sup>2</sup>.

В 1976 г. в левобережной части Астраханского свода в верхах подсолевых карбонатов башкирского возраста было открыто крупнейшее по запасам в Европе Астраханское газоконденсатное месторождение [3]. Залежь массивная, находится в трещинно-поровых коллекторах органогенных известняков башкирского возраста. Площадь залежи по изогипсе кровли башкирского яруса –4100 м составляет 450 км<sup>2</sup>, высота — 220–270 м. Региональной покрышкой являются глинистые ассельско-артинские и галогенные кунгурские отложения.

В результате анализа данных многолетних сейсморазведочных работ были выявлены границы Астраханского свода (см. рис. 1).

Для северного склона характерно плавное погружение пород в сторону Прикаспийской впадины. На юге граница свода резко погружается под дислоцированные нижнепермские отложения Каракульского вала. Западная граница отбивается по довольно резкому моноклинальному погружению пород в сторону Сарпинского мегапрогиба.

По результатам выполненных в последние годы геолого-геофизических исследований, помимо Астраханского газоконденсатного месторождения, в башкирских отложениях на северо-восточной периферии Астраханского свода открыты новые газоконденсатные месторождения с пониженным содержанием сероводорода — Алексеевское, Табаковское. Абсолютные отметки глубины залегания продуктивной толщи изменяются от –3850 до –4070 м [3].

В ходе разведки Астраханского газоконденсатного месторождения на Астраханском своде пробурена серия сверхглубоких скважин с глубинами от 6000 до 7000 м, вскрывших девонские отложения (Володарская-2, Девонские-1, 2, 3 и Правобережная-1) (рис. 2). По результатам бурения скважин Володарская-2 и Девонская-2 осуществлена стратиграфическая привязка сейсмических горизонтов в левобережной части свода как в надсолевой, так и в подсолевой частях разреза (рис. 3). По результатам бурения скважин признаки нефтегазоносности обнаружены в отложениях франского яруса верхнего девона, в турнейских, визейских, серпуховских и башкирских отложениях каменноугольной системы.

В 2004 г. западнее Астраханского газоконденсатного месторождения в междуречье Волги и Ахту-

бы в пределах Пойменного лицензионного участка, скв. Приморская-1 в подсолевых отложениях башкирского яруса открыто Центрально-Астраханское газоконденсатное месторождение. Отметка забоя скважины –4188 м. В процессе испытания продуктивного пласта (интервал глубин 4040,5–4090,5 м) получен промышленный приток газа и конденсата.

В 2008 г. бурение скв. Центрально-Астраханская-2 на Пойменном лицензионном участке подтвердило продуктивность отложений раннебашкирского возраста.

На периферии юго-западной части свода сейсморазведочными работами в 1979–1984 гг. была выявлена Южно-Астраханская зона локальных поднятий по горизонту ПП (C<sub>2</sub>b), протягивающаяся в субширотном направлении и представленная Безымянной, Красносельской, Геологической, Вартыновской Уланской, Ферсманской структурами (рис. 4, см. рис. 1).

В 1988 г. поисковое бурение проведено на Геологической структуре (скв. Южно-Астраханские-4, 14 с глубиной забоя соответственно 4584 и 5030 м). В скв. Южно-Астраханская-14 на глубине 4488 м отмечалось повышение газопоказаний по сумме УВ до 25,5 %. Из интервала 4762–4775 м был поднят керн с запахом УВ. При углублении скважины наблюдался выход разгазированной пачки промысловочной жидкости и пленки нефти.

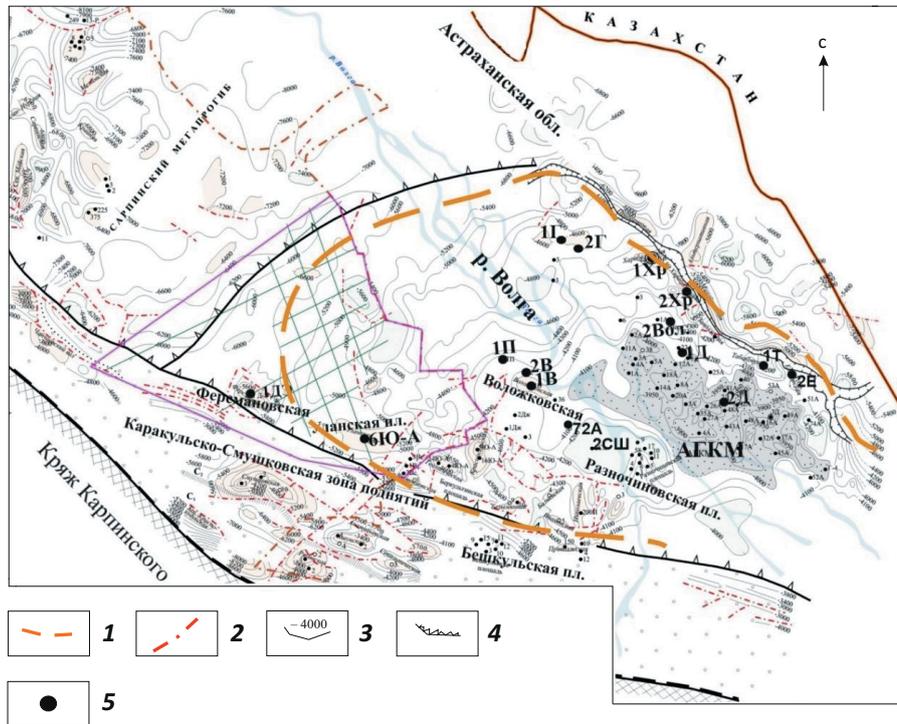
В 1990 г. поисковое бурение проводилось на Вартыновской площади. В сводовой ее части пробурена скв. Южно-Астраханская-7 (забой на глубине 5500 м). По данным ГИС интервал 4988–5005 м выделяется как газонасыщенный. В процессе испытаний пластов получены небольшие притоки газа.

В районе Безымянной структуры (скв. Южно-Астраханская-10 с забоем 4615 м) в процессе бурения с забоя 4218 м из терригенных отложений башкирского яруса была поднята разгазированная пачка глинистого раствора. Газ по своему составу близок к газам нефтеконденсатного ряда. При забое 4360 и 4400 м в растворе появились пленки нефти. По результатам переинтерпретации (1998 г.) газокаротажных данных в интервале глубин 4350–4370 м выделяется аномалия газопоказаний, в 3–5 раз превышающая фоновое значение. При бурении в интервале 4512–4527 м с забоя вымывались пачки разгазированного раствора, где содержание УВ составляло 35–40 % при фоновом значении 10 %. При бурении на глубине 4615 м и ниже по показаниям было отмечено увеличение суммарного газосодержания за счет повышения концентраций легких компонентов в 2–3 раза (см. рис. 2).

В 1988–1992 гг. в своде Уланского поднятия пробурена глубокая скв. Южно-Астраханская-6 с забоем в отложениях раннекаменноугольного возраста на глубине 5501 м (рис. 5). Скважина вскрыла среднекаменноугольные отложения на глубине 5022 м. В процессе опробования перспективных интервалов этих отложений (5126–5136 м) получен не-



**Рис. 2.** Площадь исследований в общей структуре Астраханского карбонатного массива  
**Fig. 2.** The study area in structural context of the Astrakhan carbonate massif



1 — граница Астраханского свода; 2 — тектонические нарушения; 3 — изогипсы сейсмического горизонта III; 4 — участки отсутствия прослеживаемости горизонта; 5 — сверхглубокие скважины.

Остальные усл. обозначения см. на рис. 1.

Скважины: А — Астраханские, В — Воложковские, Вол — Володарские, Г — Георгиевские, Д — Девонские, ДЭ — Доланско-Эрдниевская, Е — Еленинская, П — Правобережная, СШ — Северо-Шарнгутские, Т — Табаковская, Хр — Харабалинская, ЮА — Южно-Астраханские

1 — boundary of Astrakhansky high; 2 — faults; 3 — structural contours of III seismic horizon; 4 — areas of event tracing failure; 5 — ultradeep wells.

For other legend items see Fig. 1.

Wells: А — Astrakhansky, В — Volojkovsky, Вол — Volodarsky, Г — Georgievsky, Д — Devonsky, ДЭ — Dolansko-Erdniyevskaya, Е — Eleninskaya, П — Pravoberezhnaya, СШ — North Sharnutsky, Т — Tabakovskaya, Хр — Kharabalinskaya, ЮА — South Astrakhansky

промышленный приток газа с конденсатом (из затрубного пространства отобрано порядка 3000 л конденсата), в интервале 5215–5234 м отмечался слабый приток пластовой воды ( $Q_{\text{в}} = 5,2 \text{ м}^3/\text{с}$ ).

Обработка и интерпретация сейсмических данных с учетом бурения скв. Южно-Астраханская-6 позволила уточнить строение Уланской структуры. На рис. 5 видно, что скважина вскрыла разрез карбонатных отложений не в самых благоприятных условиях.

В 2006–2011 гг. в 30 км западнее Уланской площади в пределах Ферманской структуры пробурена скв. Доланско-Эрдниевская-1 до глубины 6798,5 м, которая вскрыла отложения верхнего девона (см. рис. 4).

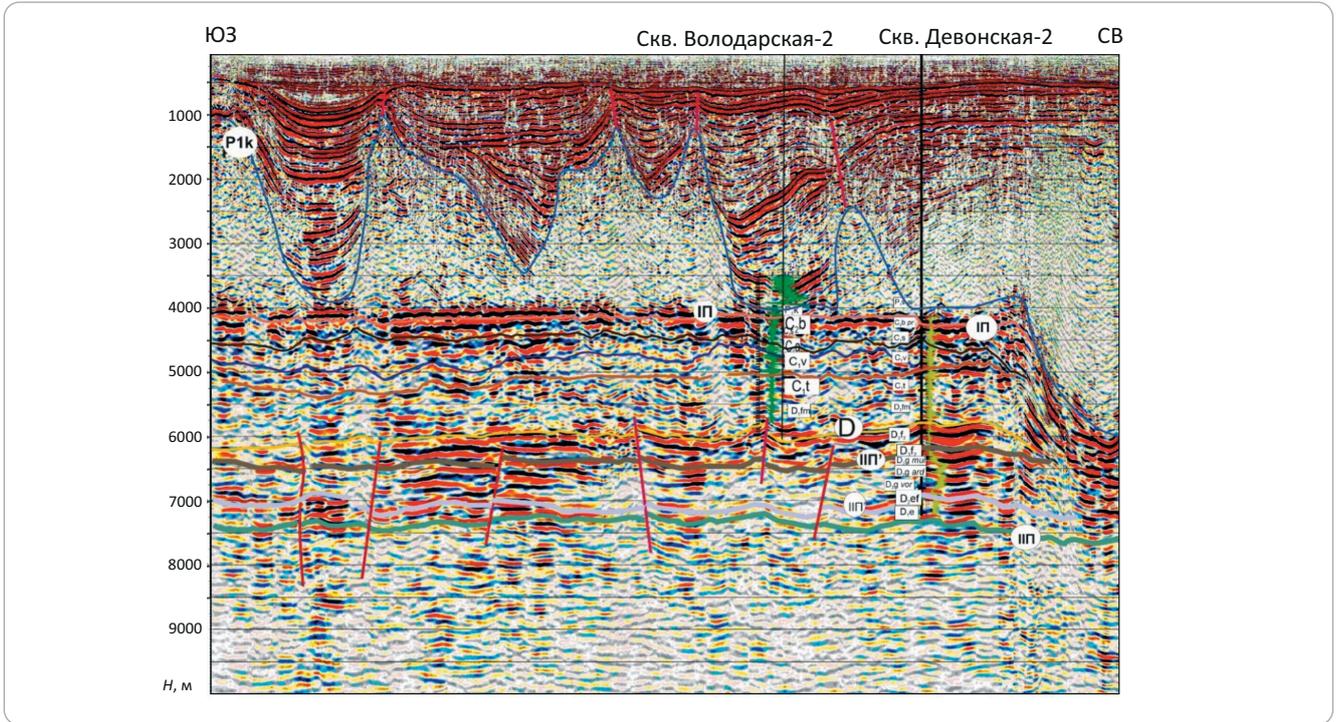
В результате испытания в колонне скв. Доланско-Эрдниевская-1 получены промышленные притоки газа и конденсата из двух продуктивных пла-

стов верхнего отдела карбонатной системы:  $C_3$  карб (2013 г.) и  $C_3$  терр (2018 г.), что послужило основанием для открытия Ферманского газоконденсатного месторождения. Нужно отметить, что это первое месторождение с отсутствием соляной покрышки, открытое в пределах Астраханского свода в отложениях позднекаменноугольного возраста.

По данным бурения отложения верхнего отдела карбонатной системы ( $C_3$ ), вскрытые на Ферманской структуре, перекрывают отложения башкирского яруса среднего карбона ( $C_2b$ ). Отложения московского яруса среднего карбона ( $C_2m$ ) подверглись размыву и отмечаются лишь в южной части изучаемой площади. Верхнекаменноугольные отложения ( $C_3$ ) представлены нерасчлененной толщей, сложенной переслаиванием глин, алевролитов, песчаников и известняков.

В карбонатном пласте верхнего карбона ( $C_3$  карб) поисково-оценочной скв. Доланско-Эрдниев-

**Рис. 3.** Разрез северо-восточного склона Астраханского свода  
**Fig. 3.** Section across the north-eastern slope of the Astrakhan high



**Рис. 4.** Волновая картина в районе скв. Доланско-Эрдниевская-1 (юго-западное окончание Астраханского свода)  
**Fig. 4.** Wave pattern in the vicinity of Dolgansko-Erdnievskaya-1 well (south-western end of the Astrakhan high)

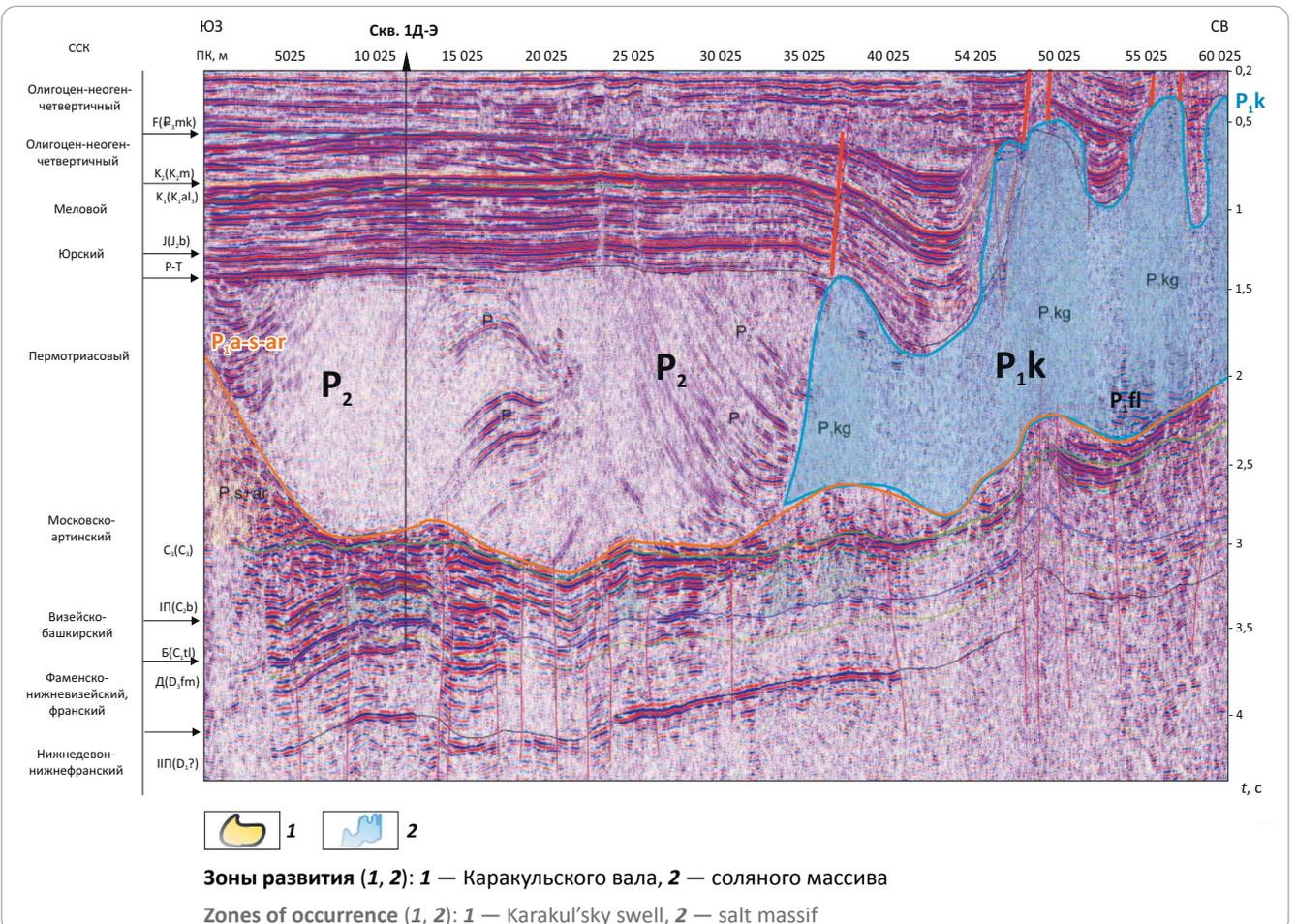
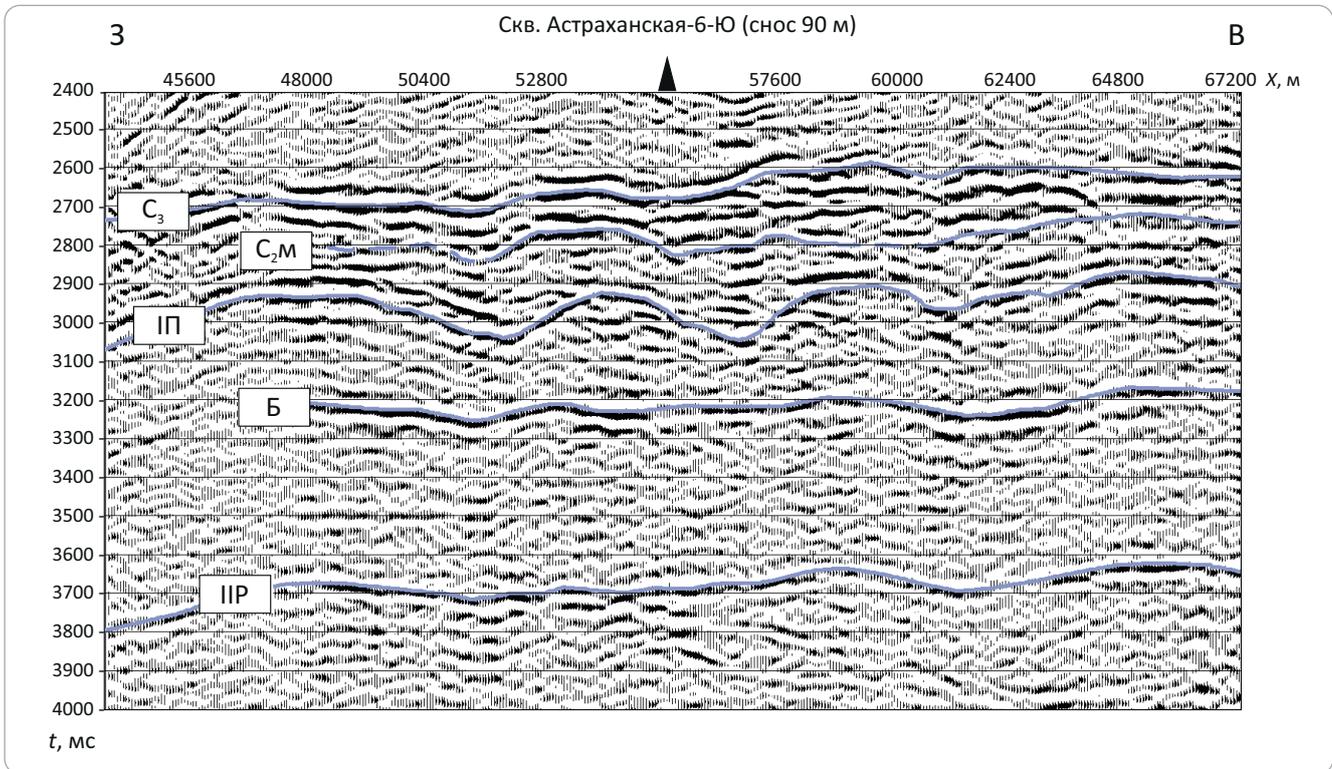




Рис. 5. Временной разрез по линии профиля PS0210686LP

Fig. 5. Seismic time section along PS0210686LP Line



ская-1 выявлена одна газоконденсатная залежь. По результатам освоения из пласта  $C_3$  карб получено  $5000 \text{ м}^3/\text{сут}$  метанового газа на 15,88-мм штуцере.

Коллекторы — известняки серые и светло-серые, мелкокристаллические, средней и слабой крепости. Покрышкой залежи служат непроницаемые глинисто-алевритистые породы верхнего карбона толщиной до 31 м.

В терригенном пласте верхнего карбона ( $C_3$  терр) по данным бурения и испытания поисково-оценочной скв. Доланско-Эрдниевская-1 выявлена одна газоконденсатная залежь. Покрышкой залежи служат непроницаемые глинисто-алевритистые породы верхнего карбона толщиной более 200 м. Залежь подстилается пачкой плотных глинисто-карбонатных пород толщиной около 154 м, отделяющих ее от залежи пласта  $C_3$  карб.

При испытании терригенного пласта после перфорации из интервала глубин 5417–5435 м получен приток безводного газа,  $Q_r = 2500 \text{ м}^3/\text{сут}$  на 14,3-мм штуцере.

Разрез представлен чередованием песчано-глинистых пород: аргиллитов, алевролитов и песчаников.

Физико-химические свойства свободного газа из продуктивных пластов  $C_3$  терр и  $C_3$  карб верхнего отдела каменноугольной системы Ферсманского месторождения изучались по данным исследования устьевых проб, отобранных в период с 2010 по 2018 г. Газ по составу метановый. Сероводород отсутствует.

Содержание конденсата в пробе (промысловый газоконденсатный фактор) составляет около  $150 \text{ см}^3/\text{м}^3$ .

#### Подготовка нефтегазоперспективных объектов в сложных геолого-геофизических условиях Прикаспийской впадины

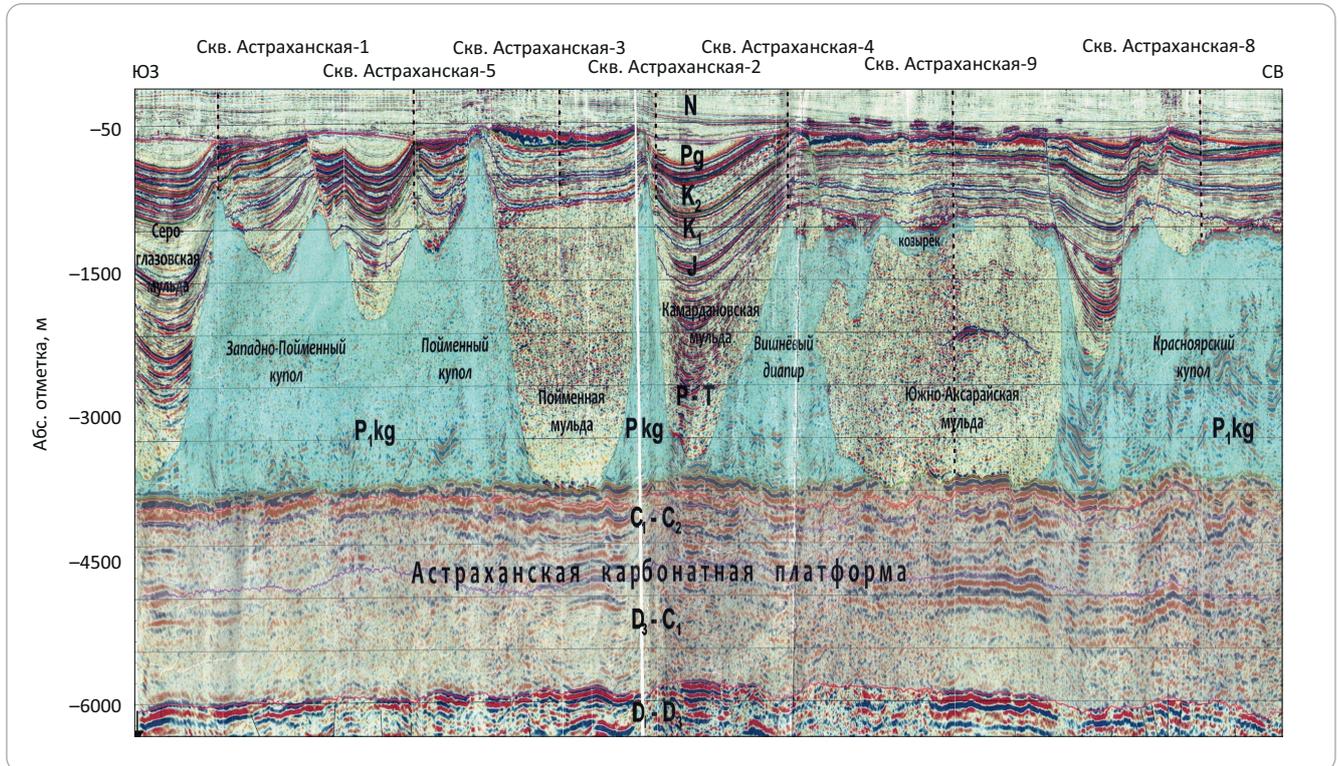
Накопленный колоссальный геолого-геофизический материал по Астраханскому своду оказался недостаточным для выработки однозначного представления об особенностях и четкой модели строения как надсолевых, так и подсолевых отложений юго-западной части Прикаспийской впадины.

На всех сейсмических разрезах наблюдается сложная и разнообразная волновая картина.

На юго-западе выделяется Каракульский вал, сложенный дислоцированными отложениями раннепермского возраста (см. рис. 4). На востоке площади наблюдается волновая картина, которая характерна для районов с развитием соляно-купольной тектоники Прикаспийской впадины, сопоставимой с левобережной частью Астраханского свода. Прослеживание каждого из ОГ зависит от конкретных сейсмогеологических условий, обусловленных морфологией соляных куполов и мульд (как бессолевых, так и солевых) (см. рис. 4). Поверхность соли контролируется множеством структурных скважин (индекс С) (рис. 6).

На рис. 3, 4 и 6 приведены разрезы, проходящие по Астраханскому своду, которые были получены при обработке данных сейсморазведки с исполь-

**Рис. 6.** Волновая картина в районе левобережной части Астраханского свода  
**Fig. 6.** Wave pattern in the left-bank part of the Astrakhan high



зованием современных технологий, таких как интерпретационная обработка, миграция до суммирования. Таким образом, с применением новейших технологий были получены достаточно качественные сейсмические глубинные разрезы.

На разрезах четко выделяются подсолевой и надсолевой мегакомплексы (см. рис. 3–6).

В составе подсолевой толщи выделяют терригенный комплекс среднего и верхнего девона, соответствующий толще между сейсмическими ОГ II-II и II-III, и карбонатный комплекс верхнего девона – среднего карбона, которому соответствует толща карбонатных пород между сейсмическими ОГ I-II и II-III.

Вследствие резкого изменения скоростной характеристики разреза, на границе купол–муфта отсутствуют протяженные оси синфазности отраженных волн и разрывы отражения от подсолевых границ (рис. 7).

Амплитуды разрывов составляют более 500 м в зависимости от высоты диапира и его скоростной характеристики. Также под соляными куполами волновое поле меняется — в нем появляются высокоамплитудные ложные структуры, что влияет на корректность динамической интерпретации подсолевой толщи при выявлении перспективных объектов.

Как правило, отражения от кровли соли отмечаются на вершинах высоких диапиров, где соль прорывает юрско-меловые отложения. На склонах куполов кровля соли в подавляющем большинстве прослеживается по косвенным признакам. Вследствие

этого получение устойчивых горизонтальных скоростных спектров для соли является нерешенной задачей (см. рис. 7).

Практика показала, что при интерпретации сложной волновой картины в условиях соляно-купольной тектоники отмечаются следующие негативные факты:

- отсутствие корреляции границы, контролирующей кровлю соляной толщи;
- некорректная корреляция соляной толщи (см. рис. 7);
- некорректность трассирования тектонических нарушений по временным разрезам (см. рис. 7).

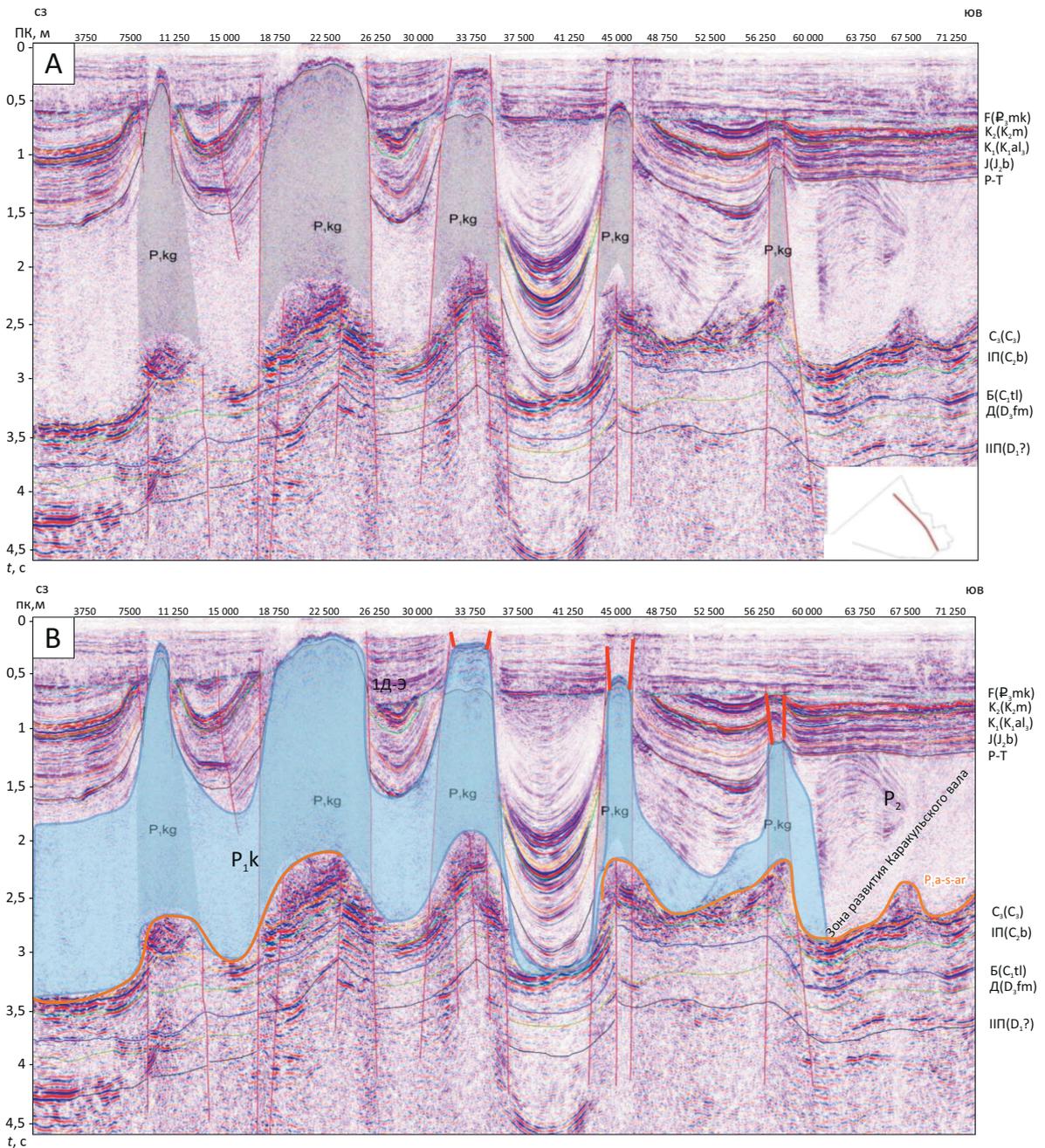
С учетом вышеуказанных негативных фактов структурные построения не корректны, что является одной из основных причин, сдерживающих открытие в подсолевых отложениях новых объектов для поиска УВ.

Методика картопостроения с помощью средних скоростей подходит для получения структурных карт по надсолевым ОГ, но не корректна для построения первой подсолевой границы. Данная граница должна быть построена от кровли соли с учетом ее корреляции по площади.

Несмотря на перечисленные, всем известные сложности при выделении подсолевых объектов, при интерпретации данных сейсморазведки из работы в работу переходят одни и те же ошибки по недоучету одного, а то и трех негативных фактов, что в результате приводит к неудачному бурению поис-



**Рис. 7.** Временной разрез по линии профиля 16210307 в районе исследуемой территории  
**Fig. 7.** Seismic time section along 16210307 Line within the study area



Варианты корреляции кровли соляного массива: А — ошибочное выделение границ соляных тел, В — более точное выделение границ соляных тел.

Усл. обозначения см. на рис. 4

Options of salt massive Top tracing: A — erroneous identification of salt bodies boundaries, B — more accurate identification of salt bodies boundaries.

For Legend see Fig. 4

ково-оценочных и разведочных скважин. На рис. 7 показан пример ошибочно проведенной интерпретации в сложных условиях соляно-купольной тектоники.

Одним из основных условий успешного построения сейсмических изображений в условиях

соляно-купольной тектоники является правильно подобранная глубинно-скоростная модель. Однако соляные тела создают множество серьезных осложнений на пути решения данной проблемы. Это связано с большим контрастом скорости на границе между солью и окружающими осадочными породами, а также со сложной формой поверхности соля-

ных тел. Помимо изначально сложной конфигурации, поверхность соли может быть дополнительно усложнена процессами растворения и провалами. В результате на поверхности соли происходят сильные процессы преломления и рассеяния сейсмических волн, часто приводящие к слабой «освещенности» подстилающих границ соли.

Как показывает практика, основным достоверным источником информации по скоростной характеристике разреза в целом и кунгурских галогенных отложений в частности являются только методы ВСП и АК. Для изучения скоростной характеристики разреза и стратиграфической привязки отраженных волн исследования методом ВСП проведены в скв. Доланско-Эрдниевская-1, которая вскрыла отложения от фаменского яруса позднего девона до четвертичного возраста.

Трассирование разломов как единых нарушений начиная с надсолевых отложений (пересекая всю толщу соли) и вплоть до подсолевых отложений, противоречит особенностям механизмам соляно-купольного тектогенеза (см. рис. 7).

Нужно иметь в виду, что все неровности на временных разрезах на уровне подсолевых отложений в условиях соляно-купольной тектоники обусловлены конфигурацией соляных тел. Как правило, при корректно построенной глубинно-скоростной модели на глубинных разрезах ложные нарушения в подсолевых отложениях сглаживаются.

Таким образом, еще раз разбирая существующие в практике варианты ошибок при интерпретации сейсморазведочных данных, можно приблизиться к наиболее верному отображению подсолевых отложений.

При детальном изучении морфологии соляных куполов четко выделяются зоны или области с разной степенью прорыва надсолевого комплекса, крутизной соляных склонов и разным характером их наклона. Над куполами породы обычно разбиты многочисленным разрывным нарушениям в виде кольцевых и радиальных сбросов, образующих так называемую структуру разбитой тарелки (рис. 8). В процессе соляного диапиризма формируются ловушки по надсолевым отложениям, которые являются тектонически экранированными или примыкающими к боковым стенкам соляных куполов.

В пределах северо-западной части свода в надсолевых отложениях нижнемелового комплекса в пределах Халганского соляного купола было открыто Халганское месторождение. В нижнеальбских песчаниках выявлены две тектонически экранированные газовые залежи, расположенные в сводовой части купола. При испытании скв. Халганская-1 в интервалах 1174–1177 и 1226–1228 м дебиты составили 48,6 м<sup>3</sup>/сут на 5,7-мм штуцере и 270 м<sup>3</sup>/сут на 15,8-мм штуцере (метан — 86,9 %). В скв. Халганская-9 с глубины 1258 м произошел газовый выброс из верхнемеловых отложений. В течение 1 сут скважина фонтанировала газом с водой.

Углеродородный потенциал может повыситься с учетом имеющегося резерва слабоизученных и неразведанных соляных куполов. Перспективной в данном отношении является площадь западнее скв. Правобережная-1, где еще развита соляно-купольная тектоника.

В пределах юго-западной части рассматриваемого участка сеть сейсмических профилей расположена неравномерно, менее всего изучены юго-западная и западная части рассматриваемого участка. Средняя плотность информативной сети профилей составляет 0,9 км/км<sup>2</sup>, что полностью не соответствует критериям подготовки нефтегазоперспективных объектов в сложных геологических условиях. Для обеспечения достоверности выявления структурных особенностей перспективных объектов и их глубин залегания плотность сети сейсмических профилей должна быть не ниже 1,8–2 км/км<sup>2</sup>.

Обеспечение максимально полного опознания перспективных объектов с оценкой ресурсов УВ и перевода их в запасы промышленных категорий достигается постановкой сейсморазведки МОГТ-3D с опорой на поисково-оценочные и разведочные скважины.

Необходимо проводить обработку сейсмических данных с использованием новейших приемов корреляции кровли соляных отложений и последующим глубинно-динамическим анализом (миграция до суммирования — PSDM) с учетом возможных нарушений и крутых углов наклона ОГ (применение программного комплекса GeoDepth). Использование при обработке сейсмических данных методики интерпретационной обработки предусматривает детальное восстановление глубинно-скоростной модели на основе глубинной миграции до суммирования и томографии в области скорость–анизотропия.

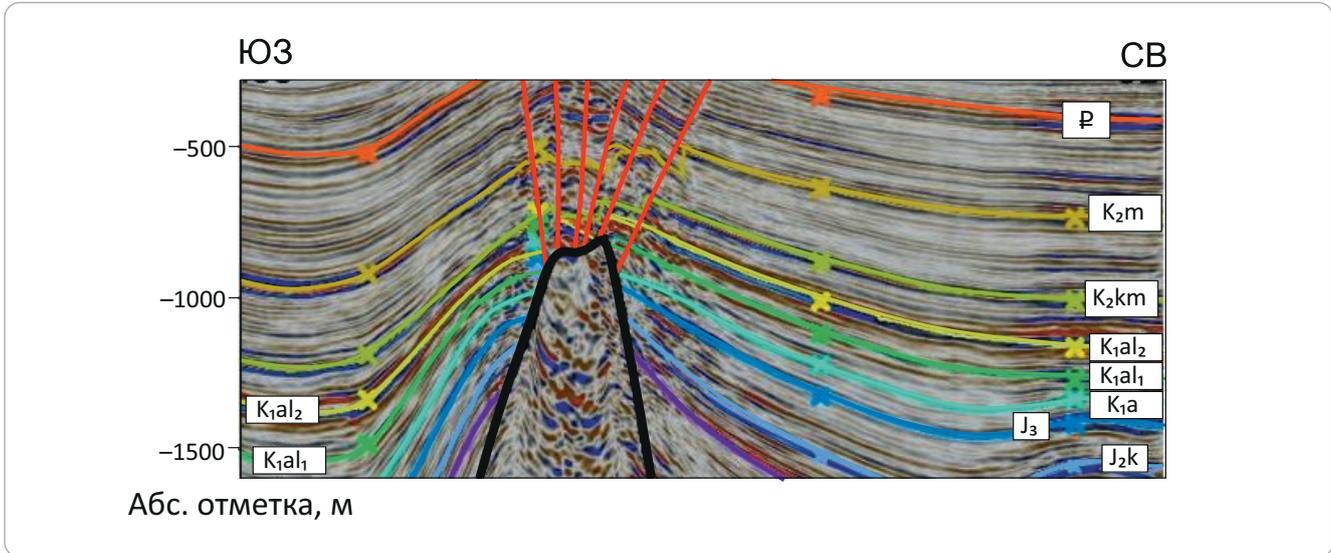
Для существенного повышения качества сейсмического изображения в сложных геолого-геофизических условиях соляно-купольной тектоники необходимо проводить дополнительную обработку сейсмических данных при помощи технологии обработки «Мультифокусинг», направленной, в первую очередь, на повышение разрешающей способности отраженных волн за счет повышения отношения сигнал–помеха и позволяющей существенно улучшить качество сейсмического изображения в условиях развитой соляно-купольной тектоники.

Решение вопросов происхождения и структуры геологических объектов лишь на основе сейсмических материалов в условиях Прикаспийской впадины часто приводит к ошибкам [6], в связи с этим необходимо проведение комплекса геофизических исследований для выявления перспективных нефтегазоносных ловушек УВ [7, 8].

В первую очередь, кроме сейсморазведочных данных необходимо использовать геопотенциаль-



**Рис. 8.** Тектонические нарушения в пределах соляных куполов  
**Fig. 8.** Faults within the salt domes



ные поля — грави- и магниторазведку, которые позволят уточнить конфигурацию соляных куполов и, как следствие, более надежно выделить ловушки УВ.

Авторами статьи уже была опробована методика уточнения конфигурации соляных тел с использованием данных гравиразведки [9–11] в северо-западной части Прикаспийской впадины. Данная методика включает комплексный анализ сейсмо-, грави- и магниторазведочных данных на основе 3D-геологического моделирования в программном комплексе GravMagInv (рис. 9). Масштаб съемки геопотенциальных полей должен быть не меньше, чем 1:200 000. Для выполнения разных видов геофизических исследований и интерпретации данных съемок необходимо запроектировать исследования с обязательным заходом на имеющиеся месторождения (месторождения-аналоги) и опираться в дальнейшем на них как на выбранный эталон.

В дальнейшем подобного рода работа планируется для уточнения конфигурации соляных куполов на основе комплексирования геофизических данных по изучаемой площади на юго-западной периферии Астраханского свода.

### Выводы

Проведенные исследования показали, что для получения более надежной картины развития соляно-купольной тектоники необходимо продолжить выполнять большой объем работ, включающий:

- широкомасштабную съемку МОГТ-3D новейших модификаций с опорой на поисково-оценочное и разведочное бурение глубоких скважин;
- анализ скважинных данных, относящихся непосредственно к изучаемому участку или сопредельным территориям;
- изучение скоростных параметров для всех сейсмокомплексов;

- использование при обработке сейсмических данных новейших технологий, которые позволят существенно повысить качество сейсмического изображения в условиях развитой соляно-купольной тектоники;

- корректное выявление разломов, неоднозначность которых обусловлена присутствием соляной тектоники;

- увязку всей имеющейся геолого-геофизической информации;

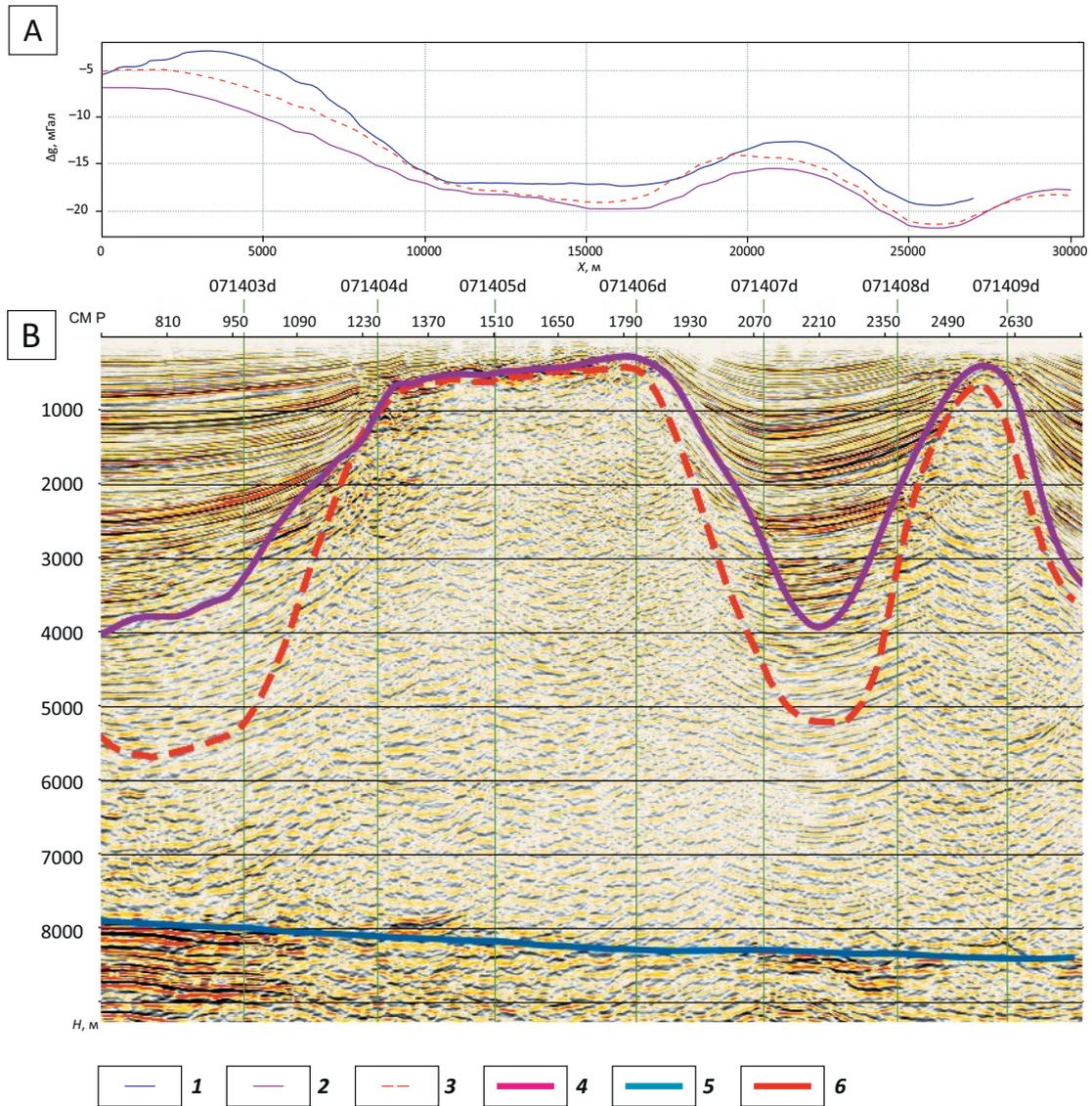
- продолжение изучения надсолевого комплекса на юго-западной периферии Астраханского свода, где развита соляно-купольная тектоника. Наличие на северо-западе свода Халганского месторождения в надсолевых отложениях позволяет надеяться на реальные перспективы нефтегазоносности надсолевых отложений и на восточном сегменте изучаемой площади;

- проведение комплекса геофизических исследований, например, таких как сейсмическая, грави- и магнитометрическая съемки, для снижения геологических рисков, направленных на поиск ловушек УВ, для уточнения конфигурации соляных куполов, разломов, районирования территории с выделением перспективных в нефтегазоносном отношении объектов.

Имея многолетний опыт работы в сложных условиях соляно-купольной тектоники, авторы статьи признают, что достоверность результатов решения «динамических» задач сейсморазведки зависит от множества факторов, и оптимальные методики поисков залежей нефти и газа в этих условиях, которые были бы готовы к применению, еще не разработаны.

Для поиска перспективных объектов как в отложениях надсолевого, так и подсолевого комплексов пород, в сложных условиях соляно-купольной

**Рис. 9.** Уточнение кровли соленосных отложений на основе комплексирования сейсморазведки (А) и гравиразведки (В)  
**Fig. 9.** Updating the salt-bearing deposits Top using integration of seismic (A) and gravimetry (B) data



**$\Delta g$  (1–3):** 1 — наблюдаемое, 2 — рассчитанное для исходной модели, 3 — рассчитанное для уточненной модели; **кровля (4–6):** 4 — исходная соленосных отложений, 5 — первой подсолевой границы, 6 — уточненная соленосных отложений

**$\Delta g$  (1–3):** 1 — observed, 2 — calculated for initial model, 3 — calculated for updated model; **Top (4–6):** 4 — initial of salt-bearing deposits, 5 — first subsalt boundary, 6 — updated of salt-bearing deposits

тектоники необходимо реализовывать в полной мере весь потенциал имеющихся технологий и приемов.

Изложенный материал — попытка авторов еще раз сделать акцент на основные ошибки выделения подсолевых отложений, чтобы обратить внимание геологов и геофизиков на основные негативные факторы, существующие при выделении ловушек УВ в сложных геолого-геофизических условиях.

Для выявления перспективных ловушек с целью поиска УВ в условиях Прикаспийской впадины авторы статьи рекомендуют применение ком-

плексного анализа геофизических данных (сейсмо-, грави- и магниторазведочных) на основе 3D-геологического моделирования.

Такой подход будет способствовать повышению обоснованности и объективности оценок прогнозных ресурсов надсолевого и подсолевого комплексов Прикаспийской впадины, снижению рисков, повышению инвестиционной привлекательности слабоизученных районов и интереса нефтепользователей к поиску и разведке перспективных объектов.

### Литература

1. Воронин Н.И. Особенности развития Астраханского свода // Геология нефти и газа. – 1980. – № 5. – С. 33–38.
2. Воронин Н.И. Особенности геологического строения и нефтегазоносность юго-западной части Прикаспийской впадины. – Астрахань : Изд-во АГТУ, 2004. – 164 с.
3. Бродский А.Я., Юров Ю.Г., Волож Ю.А. Новый взгляд на строение Астраханского подсолевого поднятия // Недра Поволжья и Прикаспия. – 1997. – № 12. – С. 31–41.
4. Писаренко Ю.А., Гончаренко О.П., Писаренко В.Ю. Особенности строения нижнепермской соленосной толщи и характер проявления соляного тектогенеза в северном и северо-западном обрамлении Прикаспийской впадины. Статья 1 // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2021. – Т. 21. – № 1. – С. 58–64.
5. Писаренко Ю.А., Гончаренко О.П., Писаренко В.Ю. Особенности строения нижнепермской соленосной толщи и характер проявления соляного тектогенеза на территории Прикаспийской впадины. Статья II // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Науки о Земле. – 2021. – Т. 21. – № 2. – С. 93–102.
6. Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т. Соляно-купольная тектоника передовых прогибов в структурном аспекте // Вестник Академии наук РБ. – 2010. – Т. 15. – № 3. – С. 4–18.
7. Алиева С.А. Геодинамические и геологические факторы образования крупных месторождений углеводородов в подсолевых отложениях Северо-Каспийского региона // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2020. – Т. 63. – № 2. – С. 47–60. DOI: 10.32454/0016-7762-2020-63-2-47-60.
8. Матусевич А.В. Гравиразведка Прикаспийской впадины. – Ливны : Изд-во Мухаметов Г.В., 2013. – 176 с.
9. Сокулина К.Б., Попова П.Ф., Сивожелезов Е.В. Геологическое изучение недр, включая поиски и оценку месторождений углеводородного сырья в надсолевых отложениях северо-западной части Прикаспийской впадины // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2023. – № 2. – С. 114–119.
10. Сокулина К.Б., Хуснуллина Г.Ф., Сивожелезов Е.В., Дмитриев В.А. Комплексирование геофизических данных с целью поиска залежей УВС в северо-западной части Прикаспийской впадины // Геофизика. – 2023. – № 4. – С. 84–88. DOI 10.34926/geo.2023.18.44.013.
11. Сокулина К.Б., Хуснуллина Г.Ф., Сивожелезов Е.В., Дмитриев В.А. Комплексирование геофизических данных с целью районирования территории для поиска ловушек УВС в условиях соляно-купольной тектоники Прикаспийской впадины // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2023. – № 3. – С. 122–129.

### References

1. Voronin N.I. Peculiarities of the Astrakhan arch development. *Russian Oil And Gas Geology*. 1980;(5):33–38. In Russ.
2. Voronin N.I. Osobennosti geologicheskogo stroeniya i neftegazonosnost' yugo-zapadnoi chasti Prikaspiiskoi vpadiny [Features of geological structure and hydrocarbon potential of south-western part of Caspian Basin]. Astrakhan: Izdatelstvo AGTU, 2004. 164 p. In Russ.
3. Brodskii A.Ya., Yurov Yu.G., Volozh Yu.A. Novyi vzglyad na stroenie Astrakhanskogo podsolevogo podnyatiya [New insight into the structure of the Astrakhan subsalt uplift]. *Nedra Povolzh'ya i Prikaspiya*. 1997;(12):31–41. In Russ.
4. Pisarenko Yu.A., Goncharenko O.P., Pisarenko V.Yu. Structural features of the lower permian salt-bearing series and the character of salt-tectogenesis manifestations in the northern and northwestern margins of the Caspian depression. Paper 1. *Izvestiya of Saratov University. New series. Series: Earth Sciences*. 2021;21(1):58–64. In Russ.
5. Pisarenko Yu.A., Goncharenko O.P., Pisarenko V.Yu. Structural features of the lower permian salt-bearing series and the character of salt-tectogenesis manifestations in the northern and northwestern margins of the Caspian depression. Paper 2. *Izvestiya of Saratov University. New series. Series: Earth Sciences*. 2021;21(1):93–102. In Russ.
6. Kazantsev Yu. V., Kazantseva T.T. Foredeep Salt-Dome Tectonics in the Structural Aspect. *Herald of the academy of sciences of the republic of Bashkortostan*. 2010;15(3):4–18. In Russ.
7. Aliyeva S.A. Geodynamic and geological factors in the formation of large hydrocarbon deposits in subsalt sediments of the North Caspian region. *Proceedings of higher educational establishments. Geology and Exploration*. 2020;63(2):47–60. DOI: 10.32454/0016-7762-2020-63-2-47-60. In Russ.
8. Matushevich A.V. Gravirazvedka Prikaspiiskoi vpadiny [Gravity exploration of the Caspian depression]. Livni: Publisher. Mukhametov G.V., 2013, 176 p. In Russ.
9. Sokulina K.B., Popova P.F., Sivozhelezov E.V. Geologicheskoe izuchenie neдр, vključaia poiski i otsenku mestorozhdenii uglevodorodnogo syr'ia v nadsolvevykh otlozheniiakh Severo-Zapadnoi chasti Prikaspiiskoi vpadiny [Geological study of the subsalt, including prospecting and evaluation of hydrocarbon deposits in suprasaline deposits of the North-Western part of the Caspian basin]. *Pribory i sistemy razvedochnoi geofiziki*. 2023;(2):114–119. In Russ.
10. Sokulina K.B., Khusnullina G.F., Sivozhelezov E.V., Dmitriev V.A. Complexation of geophysical data for the purpose of prospecting for hydrocarbon deposits in the northwestern part of the Caspian depression. *Geophysics*. 2023;(4):84–88. DOI 10.34926/geo.2023.18.44.013. In Russ.
11. Sokulina K.B., Khusnullina G.F., Sivozhelezov E.V., Dmitriev V.A. Kompleksirovanie geofizicheskikh dannykh s tsel'yu raionirovaniya territorii dlya poiska lovushek UVS v usloviyakh solyanokupol'noi tektoniki Prikaspiiskoi vpadiny [Complexation of geophysical data for the purpose of zoning the territory to search hydrocarbon deposits in the conditions of salt-dome tectonics of the Caspian basin]. *Pribory i sistemy razvedochnoi geofiziki*. 2023;(3):122–129. In Russ.

### Информация об авторах

#### **Сокулина Ксения Борисовна**

Кандидат геолого-минералогических наук,  
доцент, научный консультант

ООО «ЦГМ НИР Поволжья»

410033 Саратов, ул. Гвардейская, д. 23Б

e-mail: sokulinakb@cgmnr.ru

SPIN: 5422-7166

#### **Войтович Сергей Евгеньевич**

Главный геолог, первый заместитель начальника управления  
Татарское геологоразведочное управление  
ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина

420021 Республика Татарстан, Казань, ул. Татарстан, д. 14/59

e-mail: voytovich@tatneft.ru

#### **Попова Полина Федоровна**

Ведущий геофизик

ООО «ТЕРРАПОД»

410033 Саратов, ул. Гвардейская, д. 23Б

e-mail: popovapf@cgmnr.ru

#### **Хуснуллина Гульназ Фанисовна**

Главный геофизик

ООО «ЦГМ НИР Поволжья»

410033 Саратов, ул. Гвардейская, д. 23Б

e-mail: khusnullina@cgmnr.ru

#### **Сивожелезов Евгений Викторович**

Главный геолог

ООО «ТЕРРАПОД»

410033 Саратов, ул. Гвардейская, д. 23Б

e-mail: ev@cgmnr.ru

### Information about authors

#### **Kseniya B. Sokulina**

Candidate of Geological and Mineralogical Sciences,  
Associate Professor, Scientific Adviser

LLC «TcGM NIR Povolzhya»;

410033, Saratov, Gvardeiskaya, 23B

e-mail: sokulinakb@cgmnr.ru

SPIN: 5422-7166

#### **Sergei E. Voitovich**

Chief Geologist, First Deputy Head of Administration  
Tatar Geology and Prospecting Administration  
of TATNEFT

14/59, ul. Tatarstan, Kazan, 420021, Republic of Tatarstan

e-mail: voytovich@tatneft.ru

#### **Polina F. Popova**

Leading Geophysicist

LLC «TERRAPOD»

410033 Saratov, Gvardeiskaya, 23B

e-mail: popovapf@cgmnr.ru

#### **Gulnaz F. Khusnullina**

Chief Geophysicist

LLC «TcGM NIR Povolzhya»

410033, Saratov, Gvardeiskaya, 23B

e-mail: khusnullina@cgmnr.ru

#### **Evgenii V. Sivozhelezov**

Chief Geologist

LLC «TERRAPOD»

410033, Saratov, Gvardeiskaya, 23B

e-mail: ev@cgmnr.ru