

УДК 550.8:553.98

DOI 10.31087/0016-7894-2019-2-85-92

Новые направления и методика поисковых работ на углеводороды в глубокопогруженных зонах российского сектора Прикаспийской впадины

© 2019 г. | Г.Н. Гогоненков¹, О.А. Корчагин², В.Г. Грошев³, Э.М. Закиев³, А.Р. Яппарова³

¹ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт», Москва, Россия; gogonenkov@vngni.ru;

²АО «Росгеология», Москва, Россия; oakorchagin@rusgeology.ru;

³АО «Центральная геофизическая экспедиция», Москва, Россия; vggroshev@cge.ru; emzakiev@cge.ru; aryapparova@cge.ru

Поступила 10.09.2018 г.

Принята к печати 26.10.2018 г.

Ключевые слова: *поисковые работы; углеводороды; Прикаспийская впадина; геологическая модель; Алтатинско-Ершовская зона; галокинетическое моделирование.*

В результате переобработки и переинтерпретации данных 2D-съемки разных лет, а также обобщения имеющейся информации по Алтатинско-Ершовской зоне предложена геологическая модель подсолевого и надсолевого комплексов в погруженной части российского сектора Прикаспийской впадины. Огромная мощность соли (более 3 км) и ее сложная деформированность в систему куполов, разделенных глубокими мульдами, заполненными триасовыми, юрскими и меловыми отложениями, существенно усложняли сейсмическую волновую картину. На основе построенной глубинно-скоростной модели, максимально учитывающей скоростную дифференциацию покрывающей толщи, установлено, что подсолевые горизонты моноклинально погружаются к центру Прикаспия. Предложена новая поисковая концепция в российской части Прикаспия — подкарнизные ловушки. Выполнено галокинетическое моделирование перспективного объекта — соляного карниза. Даны рекомендации по дальнейшим сейсморазведочным работам, решающие задачи заложения сверхглубокой параметрической скважины и уточнения строения подсолевого и надсолевого комплексов. Главный вывод авторов — перед дорогостоящим бурением параметрических и глубоких скважин в погруженных районах Прикаспийской впадины необходимо проведение высокоразрешающей сейсморазведки 3D.

Для цитирования: Гогоненков Г.Н., Корчагин О.А., Грошев В.Г., Закиев Э.М., Яппарова А.Р. Новые направления и методика поисковых работ на углеводороды в глубокопогруженных зонах российского сектора Прикаспийской впадины // Геология нефти и газа. – 2019. – № 2. – С. 85–92. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-2-85-92

New directions and methods of prospecting for hydrocarbons in deep-seated areas of the Russian sector of the Caspian depression

© 2019 | G.N. Gogonenkov¹, O.A. Korchagin², V.G. Groshev³, E.M. Zakiev³, A.R. Yapparova³

¹Federal State Budgetary Institution "All-Russian Research Geological Oil Institute", Moscow, Russia; gogonenkov@vngni.ru;

²JSC "Rusgeology", Moscow, Russia; oakorchagin@rusgeology.ru;

³JSC "Central Geophysical Expedition", Moscow, Russia; vggroshev@cge.ru; emzakiev@cge.ru; aryapparova@cge.ru

Received 10.09.2018

Accepted for publication 26.10.2018

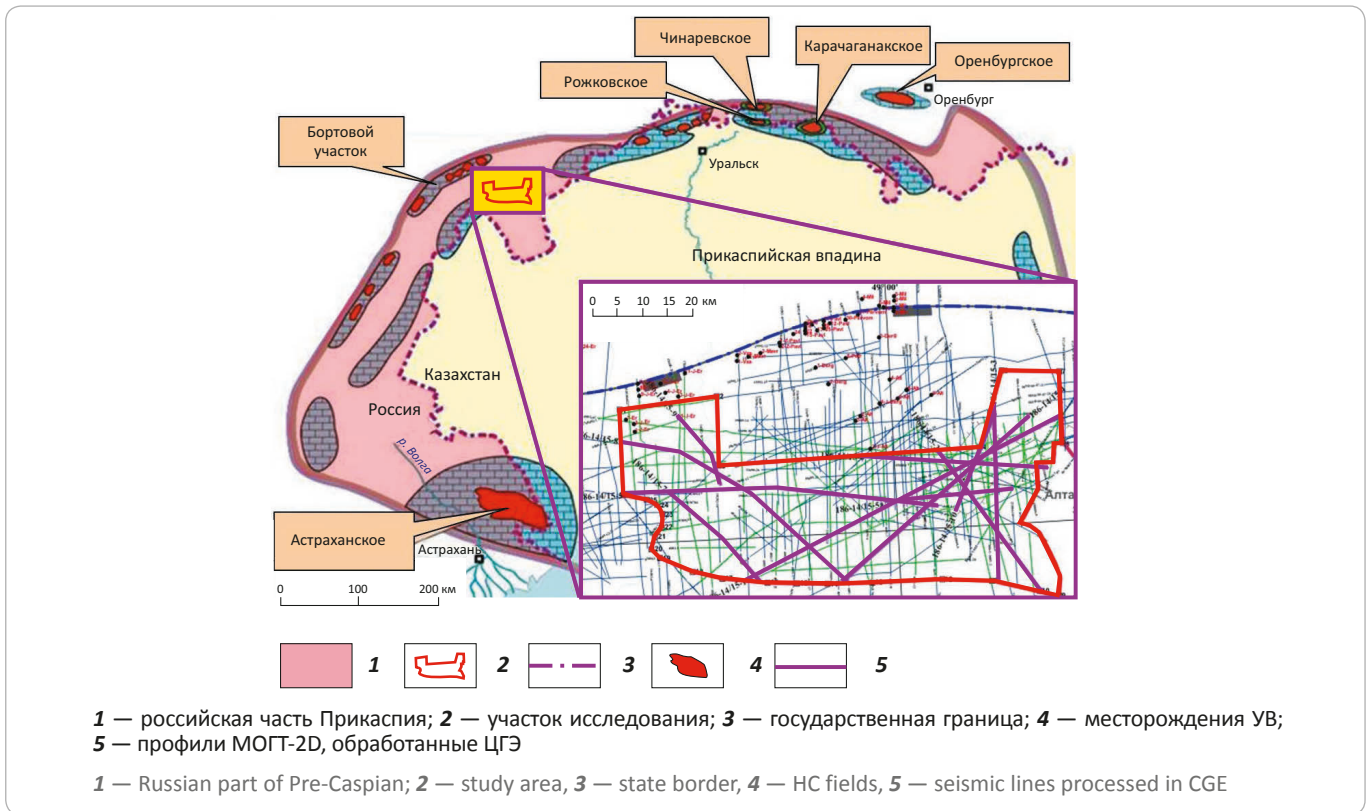
Key words: *prospecting; hydrocarbon; Caspian depression; geological model; Altatinsko-Ershovsky zone; halokinetic modelling.*

As a result of reprocessing and reinterpretation of 2D seismic data from different years surveys, as well as summarizing the available information on the Altatinsko-Ershovsky zone, a geological model of subsalt and suprasalt complex in the deep part of the Russian sector of the Peri-Caspian depression was proposed. The enormous thickness of salt (more than 3 km) and its complex deformation into the system of domes separated by deep troughs filled with Triassic, Jurassic, and Cretaceous sediments, significantly complicated the seismic wave pattern. On the basis of the created depth-velocity model that maximally takes into account the speed differentiation of the overlying strata, it has been established that subsalt horizons are monoclinaly plunging towards the center of the Caspian. A new prospecting concept was proposed for the Russian part of the Caspian region - below-overhang traps. Halokinetic modeling of exploration target — a salt overhang — has been performed. Recommendations for further seismic exploration that solve the problem of super-deep parametric well location and updating the structure of the subsalt and suprasalt series are given. The main conclusion of the authors is that 3D high-resolution seismic surveys are necessary prior to drilling expensive parametric and deep wells in submerged areas of the Caspian Basin.

For citation: Gogonenkov G.N., Korchagin O.A., Groshev V.G., Zakiev E.M., Yapparova A.R. New directions and methods of prospecting for hydrocarbons in deep-seated areas of the Russian sector of the Caspian depression. *Geologiya nefi i gaza = Oil and gas geology*. 2019;(2):85–92. DOI: 10.31087/0016-7894-2019-2-85-92.

METHODOLOGY OF PROSPECTING AND EXPLORATION OF OIL AND GAS FIELDS

Рис. 1. Схема Прикаспийской впадины с положением участка исследований
Fig. 1. Location map of the Caspian basin with the study area shown



Алтатинско-Ершовская зона, расположенная в российском секторе Прикаспия, давно привлекает внимание геологоразведчиков. Благодаря региональной нефтегазоносности пермских, каменноугольных и девонских отложений, доказанной открытием месторождений в пределах бортовой зоны и во внешнем обрамлении Прикаспийской впадины, Алтатинско-Ершовский участок рассматривается как потенциально нефтегазоносный (рис. 1). С одной стороны, близость крупнейшего подсолоевого Карачаганакского месторождения в казахстанском секторе подтверждает возможность открытия подобного месторождения на территории российского сектора, а с другой — в Саратовской области такой объект за 30 лет так и не был найден после ряда безуспешных попыток глубокого бурения [1]. На рассматриваемой территории промышленная нефтегазоносность не установлена.

Исходные данные

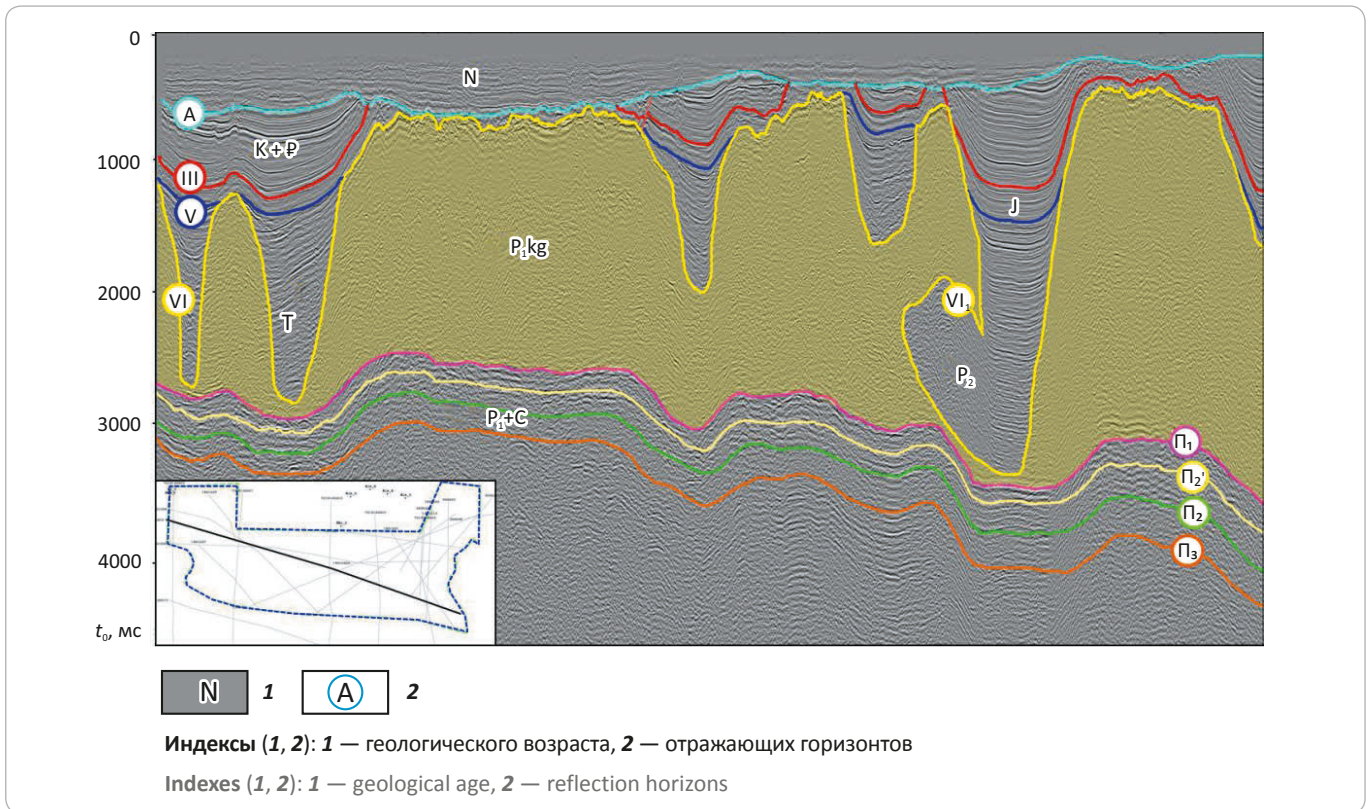
В основу работы положены все сейсмические материалы, имеющиеся по исследуемой площади и окружающим территориям, обработанные ЦГЭ, НВНИИГТ, Саратовнефтегеофизикой, ВНИИГеосистем, и по единственной глубокой скважине, вскрывшей подсолоевой комплекс в пределах изучаемого участка — Южно-Алтатинской-2. Часть сейсмического материала — 11 профилей общей протяженностью более 400 км — была обработана в ЦГЭ (см. рис. 1).

Интерпретация

Рассматриваемый район расположен южнее палеозойского бортового уступа, на котором открыто восемь месторождений в пределах лицензионного участка Бортовой. Как и во всей Прикаспийской впадине, осадочный чехол делится на подсолоевой, соленосный и надсолоевой мегакомплексы. Характерный субмеридиональный проинтерпретированный временной разрез приведен на рис. 2. Он свидетельствует о наличии на исследуемой территории глубоких (временами бессолевого) мульд, заполненных верхнепермско-триасовыми преимущественно терригенными отложениями, и соляных куполов, осложненных соляными карнизами. Отражающие горизонты А, III, V, VI и Π_1 являются региональными сейсмическими реперами и легко опознаются на сейсмических разрезах. Корреляция более глубоких отражающих границ в толще палеозоя осложнена из-за их слабой динамической выраженности на фоне многочисленных волн-помех. В палеозое выделяется три сейсмокомплекса, разделенных горизонтами группы Π (Π_4 не прослежен из-за низкого качества материалов). В целом выделяются следующие отражающие горизонты:

- А** — ярко выраженная эрозионная поверхность предплиоценового несогласия;
- III** — реперная поверхность в подошве меловых отложений;

Рис. 2. Интерпретация характерного временного сейсмического разреза
 Fig. 2. Interpretation of representative seismic time section



- V — эрозионная поверхность предъюрского размыва;
- VI — поверхность соляных куполов/карнизов;
- VI₁ — подошва соляных карнизов;
- П₁ — кровля подсолевых отложений;
- П₂' — подошва надверейского карбонатного комплекса;
- П₂ — подошва верейско-мелекесских терригенных отложений;
- П₃ — подошва визейско-башкирского карбонатного комплекса.

Глубинно-скоростная модель

За основу скоростного расчленения разреза был взят разработанный в Астраханской геофизической экспедиции хорошо зарекомендовавший себя сводный скоростной разрез Прикаспийской впадины.

Скоростное моделирование выполнялось в пакете GeoDepth компании Paradigm. Для получения 3D-модели интервальной скорости ($V_{\text{инт}}$) по всей площади использовались модели интервальных скоростей для PSDM по профилям 2D (рис. 3). Куб $V_{\text{инт}}$ был пересчитан в куб средней скорости ($V_{\text{ср}}$). Из данного куба для базовых горизонтов были получены карты $V_{\text{ср}}$ и построены структурные поверхности. Был проведен анализ интервальных скоростей между базовыми горизонтами. Скорректированные

$V_{\text{инт}}$, согласованные с данными скважин, составили основу для увязанной 3D-модели интервальной скорости. Итоговый куб $V_{\text{инт}}$ был пересчитан в куб $V_{\text{ср}}$. Полученный куб может быть использован для получения любой структурной поверхности.

ПОДСОЛЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

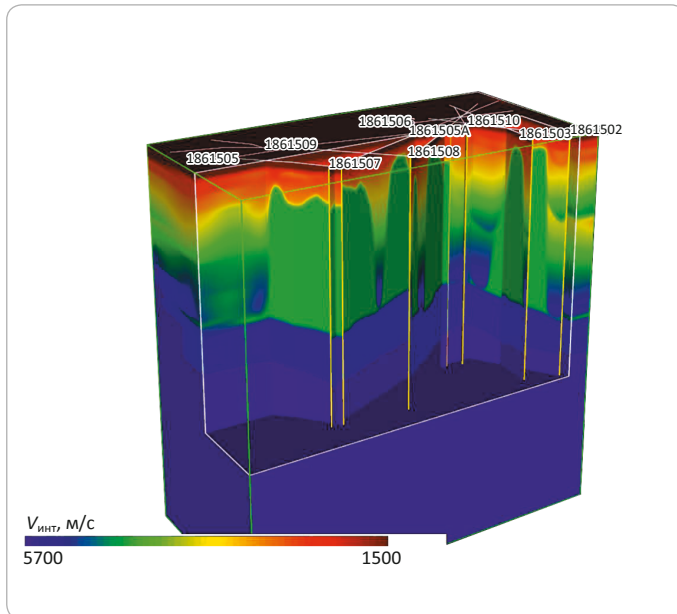
В пределах восточного участка саратовского сектора Прикаспийской впадины (Дальнее Саратовское Заволжье) стратиграфическая идентификация отражений на уровне верхов подсолевого палеозоя, **надверейской карбонатной толщи**, осуществлялась по материалам бурения скв. Южно-Алтатинская-2. При анализе более глубоких толщ за основу была взята привязка отражений из отчета НВНИИГТ (2003) по общегосударственному сейсмическому профилю Оренбург – Маньч, вдоль которого на основе глубокого анализа керна и каротажа глубоких скважин был создан литолого-стратиграфический каркас, послуживший основой для интерпретации данных сейсморазведки.

Проведенная специалистами ЦГЭ переинтерпретация данных сейсморазведки МОГТ в Алтатинско-Ершовской зоне показала, что полученные в результате переобработки сейсмических данных на основе углубленного скоростного анализа структурные карты подсолевых осадочных комплексов отражают моноклиальное погружение горизонтов в южном направлении, не осложненное ни зонами поднятий,



METHODOLOGY OF PROSPECTING AND EXPLORATION OF OIL AND GAS FIELDS

Рис. 3. Куб интервальных скоростей Алтатинско-Ершовской зоны
Fig. 3. Cube of interval velocities, Altatinsko-Ershovsky zone



ни увеличенными мощностями (рис. 4). Подсолевые отложения в раннепермско-каменноугольное время накапливались здесь, скорее всего, в депрессионных фациях.

Выполненная работа показала необходимость: 1) **повышения информативности сейсморазведки для обнаружения неантиклинальных объектов (в том числе глубоководных конусов выноса) в подсолевом разрезе;** 2) **опыскавания надсолевого и соленосного комплексов (в том числе диагностика и локализация «подкарнизных» залежей).**

Перспективные неантиклинальные поисковые объекты для поиска на углеводороды в подсолевом разрезе

По материалам бурения скв. Южно-Алтатинская-2, надверейская карбонатная толща представлена на пластами конгломератобрекчий, состоящих из обломков привнесенных мелководных высокопористых разновозрастных пород, формирующих тела конусов выноса и шлейфов. Пройденная в этой скважине мощность надверейской карбонатной толщи составила более 500 м. Здесь в изучаемой зоне возможно развитие карбонатных грубообломочных конусов выноса, сформировавшихся в раннепермское время. Органогенно-обломочный материал сносился с расположенного к северу бортового уступа.

Ранее Ю.А. Волож и др. указывали на возможность обнаружения гигантских ловушек в нижепермских конусах выноса Прикаспия [2].

НАДСОЛЕВЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ

Одной из главных особенностей геологического строения и развития Прикаспийского бассейна является наличие в его пределах мощной толщи пла-

стичных солей пермского возраста (в центре впадины первичная мощность соли могла достигать 4 км и более). Важным проявлением галокинетических процессов в Прикаспии служит образование межкупольных депрессий, сопряженных с соляными куполами, и соляных карнизов. Их возраст, морфология, глубина и другие параметры существенно различаются. В рамках данной статьи авторы попытались смоделировать развитие соляного карниза для оценки перспектив подкарнизных осадочных толщ.

Выделение соляных карнизов

Геофизикам-интерпретаторам Прикаспийской впадины хорошо известны временные аномалии — появление ложных поднятий под соляными куполами, вызванных высокой пластовой скоростью в соли (до 4800 м/с). Соляные карнизы в волновом поле выделяются по разной амплитуде ложных поднятий, отличающейся различной толщиной перекрывающей соли (рис. 5).

В результате проведенной сейсмической интерпретации авторами статьи закартированы четыре зоны возможного распространения соляных карнизов. Для наиболее обширной и перспективной зоны проведен анализ развития и формирования соляного карниза.

Модель формирования подкарнизных структур Алтатинско-Ершовской зоны

В развитии соляно-купольной структуры и прилегающей к ней мульды можно выделить три крупных этапа: раннетриасовый, средне-позднетриасовый и юрско-неогеновый. До бурения скважины возраст отложений можно оценить только предположительно (рис. 6).

1. **Раннетриасовый этап.** Начиная, вероятно, с поздней перми и вплоть до конца раннего оленека в пределах рассматриваемого участка образовалась и развивалась первичная мульда. В это время в условиях мелководного континентального водоема накапливались преимущественно глинистые и алевроглинистые, реже песчаные осадки. Депоцентр прогибания первичной мульды (D_1) (зона наибольшего погружения, характеризующаяся максимальными мощностями) располагался в районе центральной части современного «панциря черепахи» (под правым «хоботообразным» соляным карнизом). На рубеже раннего и среднего триаса произошло падение уровня эрозии, что привело к размыву и появлению углового несогласия (см. рис. 6 А). Отложения первичной мульды определили подкарнизный тип разреза.

2. **Средне-позднетриасовый этап** — ведущий в формировании современной структуры рассматриваемого участка.

На начальной стадии второго этапа были сформированы соляные карнизы, перекрывающие эроди-

Рис. 4. Структурная карта по горизонту П₂ — кровле визейско-башкирского карбонатного комплекса
Fig. 4. Depth map over P₂ reflector — top of the Viséan-Bashkirian carbonate series

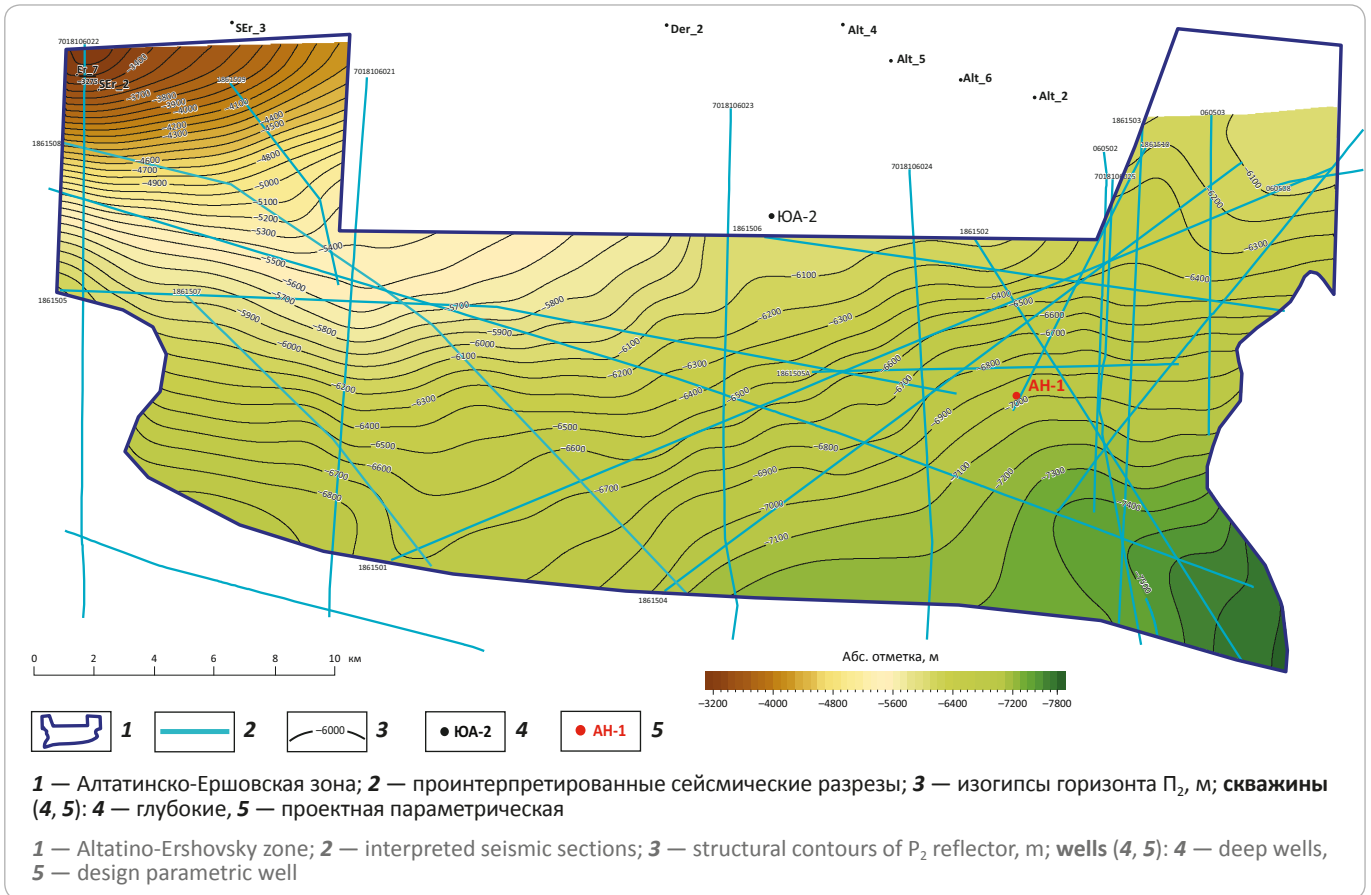
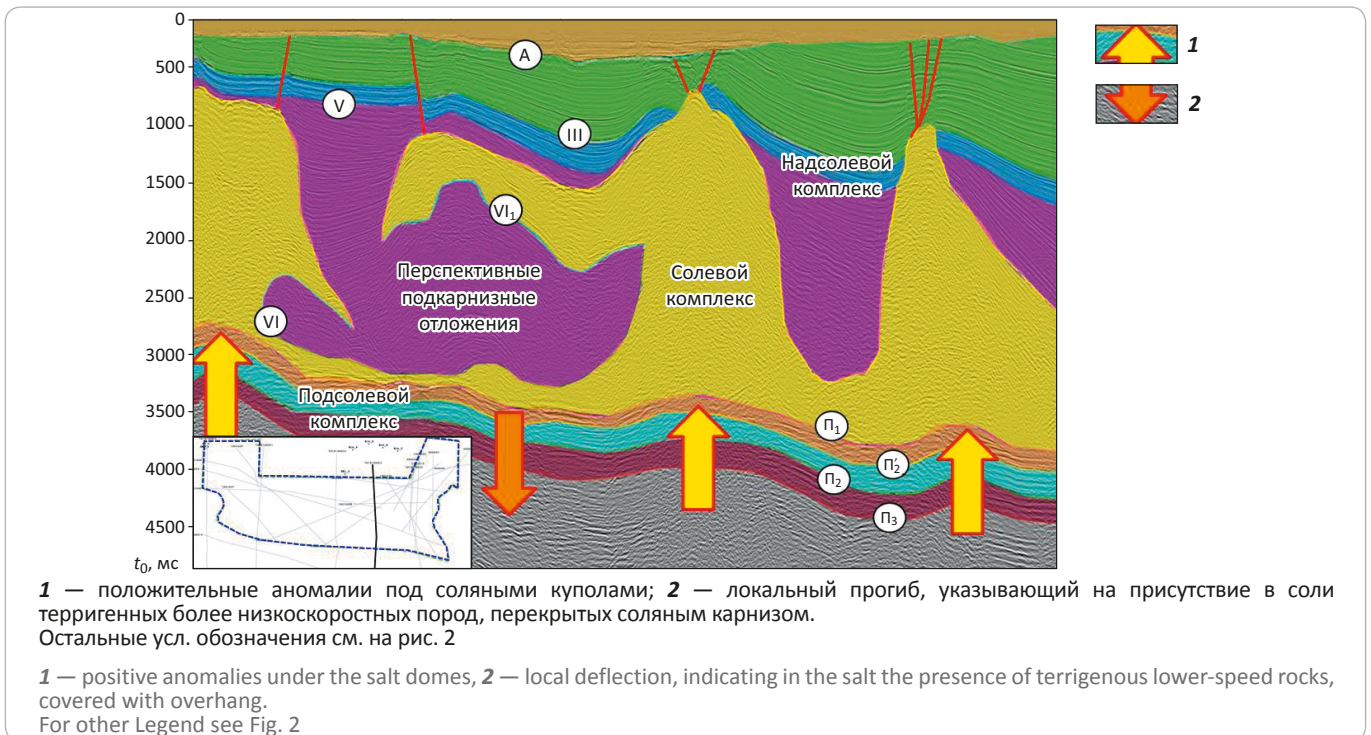


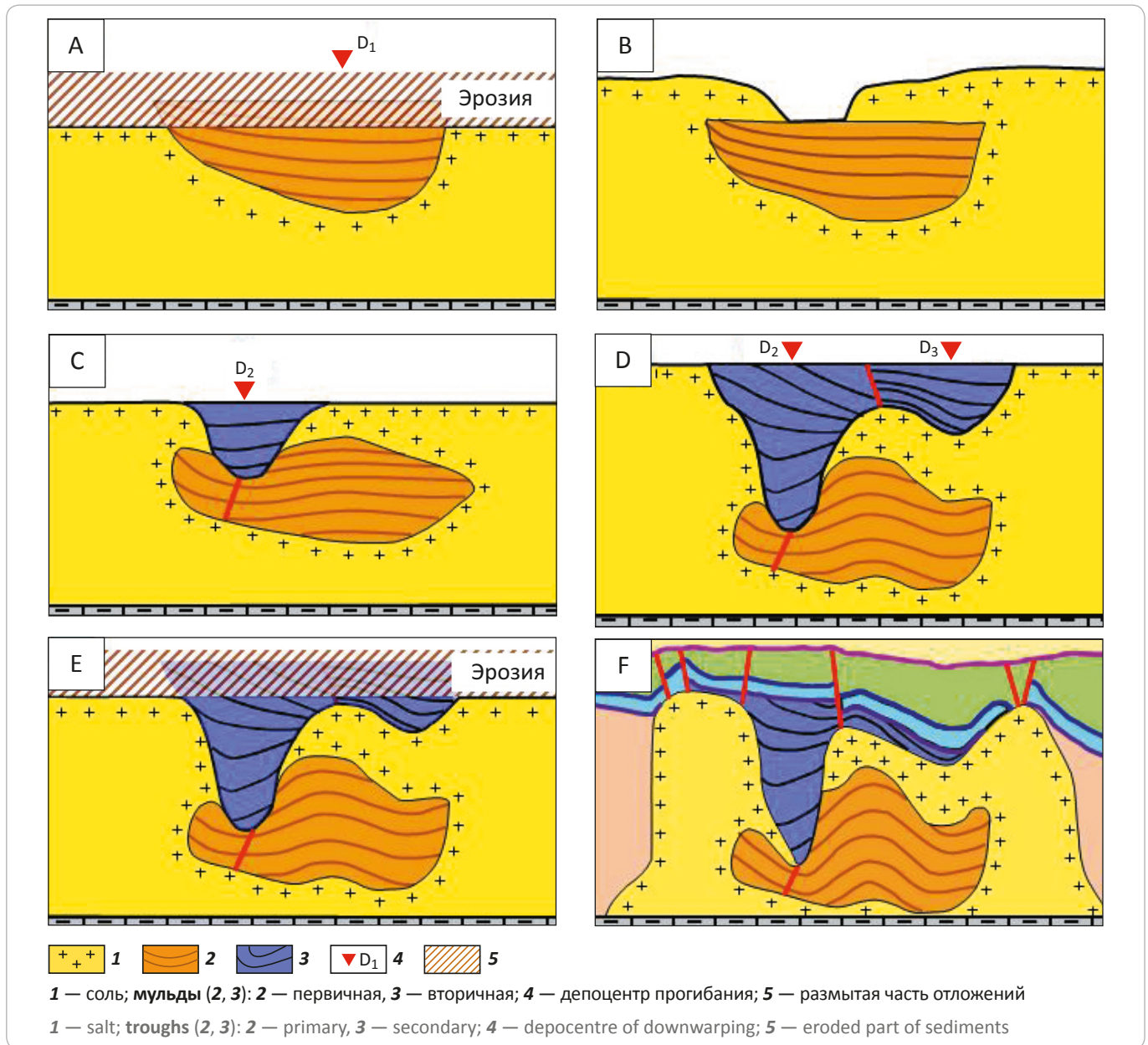
Рис. 5. Интерпретация сейсмопрофиля с обширным соляным карнизом в обработке ЦГЭ
Fig. 5. Interpretation of the seismic line with extensive salt overhang processed in CGE





METHODOLOGY OF PROSPECTING AND EXPLORATION OF OIL AND GAS FIELDS

Рис. 6. Этапы развития межсолевой мульды (А–F)
Fig. 6. Stages of intersalt trough evolution (A–F)



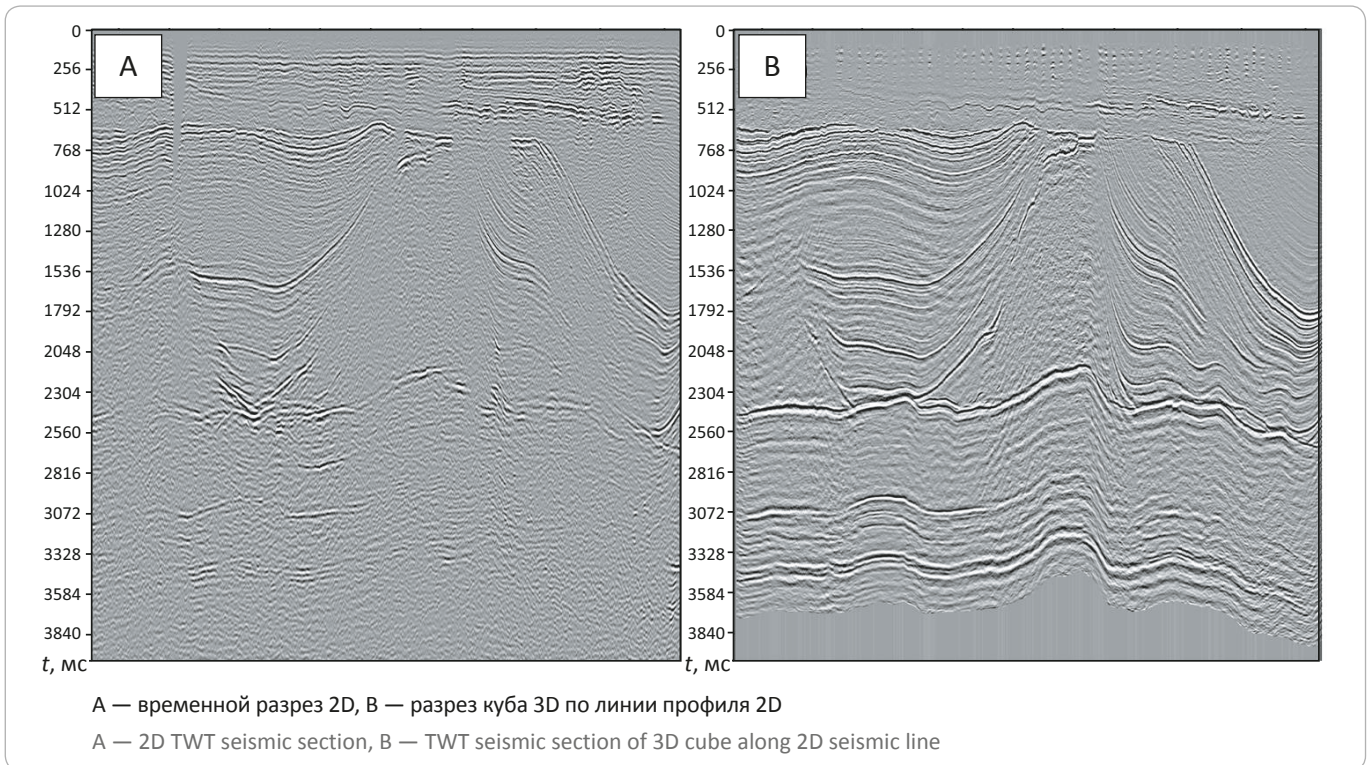
рованные толщи первичной мульды. Причиной образования соляного карниза явился интенсивный рост куполов за счет «всплывания» относительно легких соляных масс. При достижении критической высоты над уровнем рельефа выступающие соляные штоки стали «растекаться» в виде глетчеров (см. рис. 6 В). Возможность такого механизма образования соляных карнизов отмечается и в современных условиях (например, иранские соляные глетчеры [3]).

После этого депоцентр прогибания сместился к западу (D_2), что привело к образованию вторичной наложенной мульды значительной мощности. Из-за неравномерной нагрузки вся терригенная толща первичной мульды начала растрескиваться и от нее отломился западный край (см. рис. 6 С). При продол-

жающемся погружении первичная мульда все больше развивалась по схеме «панциря черепахи» и сохранила эту морфологическую особенность вплоть до достижения подсолевого ложа. При продолжении седиментации в центральной мульде появился третий депоцентр D_3 , отвечавший дизъюнктивной мульде на востоке, и в дальнейшем обе мульды, с депоцентрами D_2 и D_3 , развивались синхронно, отделенные друг от друга разломом (см. рис. 6 D).

3. Юрско-неогеновый этап. На рубеже триаса и юры вследствие эрозионных процессов произошел размыв верхних частей отложившихся толщ с частичным уничтожением средне- и верхнетриасовых отложений (см. рис. 6 E). Поэтому над восточным карнизом сохранились надкарнизные косослоистые

Рис. 7. Сопоставление временных разрезов 2D и 3D по Астраханскому ГКМ
Fig. 7. Comparison of 2D and 3D time sections, the Astrakhan gas condensate field



триасовые слои небольшой мощности. К этому времени завершилось становление современного облика межкупольной зоны.

Соответствующие этому времени осадочные толщи плащеобразно и субгоризонтально перекрыли более древние образования. В пределах рассматриваемой площади наступила относительная стабилизация галокинетических процессов, мощность юрско-неогеновых отложений изменялась незначительно. Следует отметить, что в мелу продолжалось погружение мульды с депоцентром D_3 . В целом юрско-неогеновый этап не внес принципиальных изменений в строение данной площади (см. рис. 6 F).

Эволюция межкупольной зоны и сопряженных с ней участков распространения подкарнизного и купольного типов разреза сопровождалась тектоническими дислокациями, обусловленными перераспределением соляных масс. Все отмеченные нарушения являются сбросами различной амплитуды и протяженности. На временных разрезах МОГТ они фиксируются по разрыву и смещению осей синфазности (при достаточно большой амплитуде) либо по образованию локальных флексурных перегибов, осложненных ослаблением интенсивности записи без разрыва сплошности осей (малоамплитудные сбросы).

Следует отметить, что в целом формирование соляных куполов и диапировых структур свойственно развитию сдвиговых деформаций и систем сдвиговых деформаций (пулл-апартов сжатия) [4]. Соответ-

ственно, не исключено, что Прикаспийская впадина вместе со сформированными в ее центральной и прибортовых частях соляными диапирами и куполами представляет собой крупную пулл-апартовую систему, развивавшуюся по крайней мере с позднего палеозоя.

Перспективы нефтегазоносности подкарнизных отложений

Поиск месторождений нефти и газа в «подкарнизных ловушках» в межсолевых комплексах осадочного чехла российского сектора Прикаспийской впадины, как и в других нефтегазоносных бассейнах, где развита соляно-купольная тектоника, следует рассматривать как одно из приоритетных направлений геологоразведки, поскольку, например, в казахстанском секторе Прикаспийской впадины уже открыты месторождения нефти и газа, связанные именно с «подкарнизными» ловушками, — Доссор, Жанаталап, Новобогатинский Юго-Восточный и Новобогатинский Западный. Продуктивными горизонтами в этих залежах являются песчаники триасового (оленекского) возраста.

Выводы

1. На основе изложенного следует, что в российском секторе Прикаспийской впадины перспективные поисковые объекты на нефть и газ следует связывать не только со структурными ловушками нефти и газа, но также с неструктурными ловушками в подсолевых комплексах пород, таких как глубоководные



METHODOLOGY OF PROSPECTING AND EXPLORATION OF OIL AND GAS FIELDS

конуса выноса, отложения турбидитных потоков, разнообразных меандрирующих тел, и в надсолевых и внутрисолевых образованиях, таких как «подкарнизные ловушки».

2. Поиск обозначенных ловушек (глубоководных конусов выноса и «подкарнизных» ловушек) требует постановки высокоразрешающей 3D-сейсморазведки.

Обработка результатов 2D-сейсморазведки, проведенная в ЦГЭ, хотя и улучшила прослеживаемость подсолевых горизонтов, кардинально не позволяет решить задачу выделения динамически дифференцируемых горизонтов. Сейсморазведка 2D по своей природе не позволяет корректно решать вопросы динамического анализа и картирования сложностроенных объектов типа соляной тектоники. Принципиальные ограничения профильных работ в условиях солянокупольной тектоники не позволяют получить достоверные данные по внутреннему строению подсолевых отложений.

В то же время проведенная на Астраханском своде сейсморазведка 3D убедительно доказала, что ра-

дикально повысить качество, динамическую выразительность и частотный состав отражающих границ позволяет полноценная 3D-сейсморазведка. Об этом свидетельствует волновая картина, приведенная на рис. 7. Применение пространственной процедуры PSDM-миграции позволило значительно улучшить качество подсолевых отражений по сравнению с 2D.

3. В этой связи в глубоководных частях Прикаспийской впадины рекомендуется выполнение сейсморазведочных работ 3D, например в пределах Алтатино-Ершовской зоны — **Дергачевский** куб 3D-сейсморазведки размером 25 × 30 км, который покрывает наиболее интересные и перспективные объекты в подсолевых, межсолевых и надсолевых отложениях. При этом следует сориентировать отдельные параметры системы наблюдений на глубины горизонта P_3 , т. е. максимальные удаления источник–приемник увеличить до 8–9 км, а шаг пунктов приема сократить до 25 м, обеспечив тем самым лучшее качество и детальность глубинных мигрированных сейсмических разрезов и соответствующего куба сейсмических записей.

Литература

1. Феоктистов А.В., Лепилин В.М., Феоктистов В.А. Найти Карачаганак-2! // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2010. – Т. 33. – № 3. – С. 5–16.
2. Волож Ю.А., Дмитриевский А.Н., Леонов Ю.Г., Милетенко Н.В., Федонкин М.А. Новые подходы к решению проблемы роста ресурсной базы углеводородного сырья (стратегические поисково-оценочные проекты федерального и регионального уровней) [Электронный ресурс] // Георесурсы. Геоэнергетика. Геополитика. – Вып. 2(6). – 2012. – Режим доступа: http://oilgasjournal.ru/vol_6/volozh.pdf (дата обращения 27.07.2018).
3. Ala M.A. Salt Diapirism in Southern Iran // AAPG Bull. – 1974. – Т. 58. – С. 1758–1770.
4. Корчагин О.А. Пулл-апараты, дельты современных рек и ископаемые клиноформы как перспективные объекты геологоразведки на углеводородное сырье // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. – 2018. – № 1. – С. 23–26.

References

1. Feoktistov A.V., Lepilin V.M., Feoktistov V.A. To find Karachaganak-2! *Pribory i sistemy razvedochnoi geofiziki*. 2010;33(3):5–16.
2. Volozh Yu.A., Dmitrievsky A.N., Leonov Yu.G., Miletchenko N.V., Fedonkin M.A. New approaches to solving the problem of hydrocarbon resource basis build-up (prospecting and evaluation strategic projects, on federal and regional levels). *Georesources, geoenergetics, geopolitics*. 2012;2(6) Available at: http://oilgasjournal.ru/vol_6/volozh.pdf (accessed 27.07.2018).
3. Ala M.A. Salt Diapirism in Southern Iran. *AAPG Bull.* 1974;58:1758–1770.
4. Korchagin O.A. Pull-aparts, deltas of present rivers and fossil clinofolds as prospective objects for exploration for hydrocarbon raw materials. *Mineral Resources of Russia. Economics & Management*. 2018;(1):23–26.