

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи



КУНИЦЫНА ИРИНА ВЛАДИМИРОВНА

**ДЕВОНСКО-ТРИАСОВАЯ ИСТОРИЯ ТЕКТОНИЧЕСКОГО
РАЗВИТИЯ ЮЖНОЙ ЧАСТИ СЕВЕРНОГО КАСПИЯ**

1.6.1 – Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 2022

Работа выполнена на кафедре региональной геологии и истории Земли геологического факультета Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова.

Научный руководитель: *Никишин Анатолий Михайлович* - доктор геолого-минералогических наук, профессор

Официальные оппоненты: *Соборнов Константин Олегович* - доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт», главный научный сотрудник

Гаврилов Юрий Олегович - доктор геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Геологический институт Российской Академии Наук», заведующий отделом литологии, главный научный сотрудник

Фролов Сергей Владимирович – кандидат геолого-минералогических наук, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», геологический факультет, кафедра геологии и геохимии горючих ископаемых, доцент

Защита диссертации состоится «24» марта 2023г. в 16-30 на заседании диссертационного совета МГУ.016.7 Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Главное здание МГУ имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, ауд. 415.

E-mail: nvbadulina@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский проспект, д. 27) и на сайте ИАС «ИСТИНА»:

<https://istina.msu.ru/dissertations/518004185/>

Автореферат разослан «___» _____ 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета МГУ.016.7,
кандидат геол.-мин. наук



Ю.А. Гатовский

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Высокая изученность сухопутных территорий и развитие технологий в конце XX - начале XXI века привело крупные нефтяные компании мира к активному поиску месторождений нефти и газа на шельфах и в глубоководных частях морей. Каспийское море являлось одним из ключевых направлений у отечественных и зарубежных компаний. Перспективность Северного Каспия была обусловлена открытыми уникальными месторождениями Астраханское и Тенгиз в непосредственной близости на суше. В результате поискового бурения на акватории Северного Каспия в подсолевых (палеозойских) отложениях открыли месторождения Кашаган (2000г.), Кайран (2003г.), Актоты (2003г.), относящиеся к категории уникальных и очень крупных по извлекаемым запасам углеводородов, в надсолевых (мезозойских) – крупное Каламкас-море (2002г.), средние Хазар (2007г.), Ауэзов (2008г.), Жамбыл (2013г.) и Жетысу (2014г.), очень мелкие Нарын (2008г.) и Укатное (2010г.). Надсолевые объекты обычно характеризуются небольшими размерами и запасами/ресурсной базой, и, соответственно, открытие высоко рентабельных месторождений маловероятно. Подсолевые являются основным перспективным интервалом. Однако, в настоящее время такие объекты значительно менее изучены, сложно построены и характеризуются более высокими геологическими рисками обнаружения в них месторождений нефти и газа.

С тектонической точки зрения на Северном Каспии выделяется крупная отрицательная структура I порядка – Прикаспийская синеклиза, которая с юга ограничена системой палеозойских дислокаций. Открытые месторождения в подсолевом комплексе (Кашаган, Кайран и Актоты) расположены в пределах синеклизы. Палеозойский разрез южной части (системы палеозойских дислокаций) Северного Каспия практически не изучен бурением и имеет сложное геологическое строение. Представленная работа посвящена верхнедевонско-триасовому комплексу южной части Северного Каспия в связи с возможной нефтегазоносностью.

Цели и задачи работы. Цель работы – восстановление девонско-триасовой истории тектонического развития верхнепалеозойского интервала разреза в южной части Северного Каспия.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

- собрать и проанализировать литературу по Северному Каспию и окружающей суше;
- выполнить комплексную интерпретацию геолого-геофизических данных (сейсморазведочных профилей 2D и скважинных данных);
- выделить разрывные нарушения;
- выделить основные региональные несогласия в доюрском комплексе на основе тектоностратиграфического и сейсмофациального анализов волнового поля;

- проанализировать выделенные тектоностратиграфические комплексы и спрогнозировать тектонические обстановки основных этапов развития;

- проанализировать волновое поле в кунгурском интервале разреза и оконтурить область распространения эвапоритовых отложений в настоящее время.

Фактические материалы и методы. Основой для выполнения работы послужили геолого-геофизические материалы. Главным источником информации являлись архивные сейсморазведочные профили объемом около 15 тыс. пог. км МОГТ-2D, отстреленные разными компаниями с различными параметрами. Кроме того, в работе использованы результаты бурения скважин в пределах Северного Каспия, а также большой объем литературных данных по окружающей суше.

Сейсморазведочные данные были проинтерпретированы с использованием сеймостратиграфического с элементами секвенс-стратиграфического, сейсмофациального и тектоностратиграфического методов. В девонско-триасовом интервале разреза выделены тектоностратиграфические комплексы, анализ которых в совокупности с имеющимися данными бурения позволил реконструировать различные этапы геологической истории.

Достоверность полученных результатов обеспечена применением современных технологий и методов исследования ко всем имеющимся геофизическим данным, а также комплексным подходом к изучению геологических объектов. Стоит отметить, что в данной работе использована практически вся имеющаяся на данный момент геолого-геофизическая база данных компаний-операторов в данном регионе.

Личный вклад. Интерпретация сейсмических данных (корреляция отражающих горизонтов и трассирование разрывных нарушений) выполнена лично автором. На основе полученного каркаса автор проанализировала волновое поле и восстановила тектонические обстановки.

Научная новизна. Ранее интерпретация палеозойской части разреза на сейсмических данных 2D Северного Каспия осуществлялась лишь в пределах Прикаспийской синеклизы. В южной части основное внимание уделялось мезозойскому комплексу, на который выполнялась сейсморазведка. В связи с такой изначальной особенностью отстрела полевых данных, а также сложным геологическим строением палеозойских отложений в южной части Северного Каспия на архивных сейсморазведочных данных 2D интерпретировать палеозойский разрез было практически невозможно: отсутствовали реперные отражающие горизонты и скважины, вскрывающие палеозойский комплекс. Это привело к тому, что подсолевой разрез в южной части Северного Каспия вызывал множество дискуссий и до недавнего времени оставался практически не изучен.

В основу работы соискателя легли переобработанные в 2017-2020гг. архивные сейсмические профили 2D. Применение современных графов обработки позволило увеличить информативность волнового поля. Анализ переобработанных профилей 2D показал достаточно высокий прирост информации для палеозойского комплекса в южной части Северного Каспия. В результате в волновом поле уточнилась геометрия границ целевых отражающих горизонтов и повысилась надежность корреляции осей синфазности.

Выполненная интерпретация сейсморазведочных данных и анализ волнового поля позволили детально изучить строение верхнепалеозойского комплекса и восстановить историю его тектонического развития. В результате проведенных исследований детализировано положение палеозойских складок внутри Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны, выявлены различия в формировании западной и восточной части изучаемой территории в раннепермское время, установлено, что область современного присутствия эвапоритовых отложений простирается южнее Прикаспийской синеклизы, оконтурены современные границы остаточного среднепермско-триасового палеорифта, высказано предположение, что рифт имеет асимметричное строение и его главный разлом располагается под современной Каспийско-Мангышлакской системой поднятий.

Теоретическая и практическая значимость исследования заключается в восстановлении тектонических обстановок осадконакопления на основе анализа волнового поля на временных сейсморазведочных профилях. Эти данные в дальнейшем позволяют прогнозировать литологический состав слагаемых пород. Поскольку ранее основное внимание геологов-нефтяников на исследуемой территории было обращено на мезозойский комплекс, полученные в работе результаты и выводы представляют интерес для прогноза углеводородного потенциала палеозойских отложений. Автором в данной работе рассмотрены все элементы верхнепалеозойской нефтегазовой системы и оценены ключевые геологические риски.

Защищаемые положения. Проведенные исследования позволяют сформулировать следующие защищаемые положения:

1. Составлена единая тектоническая схема подсолевого комплекса Северного Каспия и обрамляющей суши, которая непротиворечиво объединяет сухопутные и морские фрагменты южного обрамления Прикаспийской синеклизы. В южной части Северного Каспия выделена Северо-Каспийская складчато-надвиговая зона.

2. В раннепермское время в западной части современной Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны формировался краевой прогиб (как продолжение Каракульско-Смушковского), который заполнялся продуктами разрушения горной системы Карпинского (ныне Кряж Карпинского).

3. В среднепермско-триасовое время на юге Северного Каспия формировался асимметричный рифт. Растяжение проходило в субмеридиональном направлении и составило около 100 км. Остаточный палеорифт имеет субширотное простирание от западной границы Каспийского моря и далее уходит под Бузачинский полуостров. Главный разлом предположительно располагается под современной Каспийско-Мангышлакской системой поднятий. В настоящее время северная граница остаточного палеорифта проходит по северному склону Полдневско-Бузачинской системы поднятий.

4. В кунгурское время современная Северо-Каспийская складчато-надвиговая зона, простирающаяся южнее Прикаспийской синеклизы, являлась краем солеродного бассейна. В северной части Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны мощность эвапоритовых отложений составляет до 1,5 км, в южной части – десятки – первые сотни метров, в центральной части данный комплекс эродирован.

Публикации и апробация работы. Различные части диссертационной работы докладывались на IV конференции "Технологии в области разведки и добычи нефти ПАО "НК "Роснефть" (2018 г., г. Москва) и V конференции "Технологии в области разведки и добычи нефти ПАО "НК "Роснефть" (2019 г., г. Москва). По теме диссертации опубликованы 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ, основополагающий вклад в которых принадлежит соискателю: «Нефтяное хозяйство» (2021г.), «Геология нефти и газа» (2020г. и 2022г.), «Вестник МГУ. Серия 4: Геология» (2022г.).

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, подразделяющихся на разделы, заключения и списка литературы. Объем работы - 150 страницы, диссертация иллюстрирована 63 рисунками, 2 таблицами и содержит библиографию из 75 наименований.

Благодарности. Искреннюю признательность автор выражает своему научному руководителю профессору А.М. Никишину за постоянную поддержку в подготовке диссертационной работы.

Многие научные взгляды автора сформировались в процессе совместной работы и научных дискуссий с сотрудниками ООО «РН-Эксплорейшн» - А.В. Дердуга и О.В. Костенко и представителями ПАО «НК «Роснефть» - доктором геолого-минералогических наук Н.А. Малышевым и кандидатом геолого-минералогических наук В.Е. Вержбицким.

Отдельная благодарность Альмендингер О.А. и Митюкову А.В. за полезные дискуссии и возможность работать на таком интересном проекте, а компании ПАО «НК «Роснефть» за предоставленную возможность использования и публикации материалов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Геолого-геофизическая характеристика района исследований

1.1. Общие сведения о районе работ

В географическом положении территория исследований расположена на акватории Северного Каспия. Для начала необходимо определиться какую территорию называют Северным Каспием. С севера на юг Каспийское море принято делить на три части: Северную, Среднюю (Центральную) и Южную. Часто в литературе можно встретить деление данных частей друг от друга по подводным перемычкам (рельефу дна моря). В данной трактовке к Северному Каспию относится наиболее выровненная и самая мелководная часть моря с глубиной воды до 10 метров. Помимо этого, некоторые ученые-геологи разделяет Каспийское море и по тектоническому фактору. В этом случае Северным Каспием является часть моря, находящаяся в пределах Восточно-Европейской платформы. В данной работе используется граница Северного Каспия по тектоническому признаку.

1.2. Литолого-стратиграфическая характеристика

Изучаемая территория расположена в пределах Восточно-Европейской платформы, осадочный чехол которой сложен палеозойскими, мезозойскими и кайнозойскими образованиями. Данные о литолого-стратиграфическом расчленении разреза Северного Каспия получены по данным бурения на акватории и прилегающей суше. Изученный стратиграфический интервал включает отложения от девона до эоцена, неогеновые и четвертичные отложения развиты локально и в небольшом объеме.

1.3. Тектоника

Согласно тектоническому районированию Северный Каспий располагается на Восточно-Европейской платформе с дорифейским фундаментом. Крупным элементом 1 порядка является Прикаспийская впадина (синеклиза), в осадочном чехле которой выделяются три крупных литолого-стратиграфических этажа. Это подсолевой - палеозойский, надсолевой - мезозой-кайнозойский (и средне-верхнепермский), и разделяющий их соленосный нижнепермский (преимущественно кунгурский ярус).

В ряде публикаций есть подробные схемы, составленные по подсолевому структурному этажу. Однако, южная часть Северного Каспия имеет различную трактовку у авторов предыдущих исследований.

1.4. Нефтегазоносность

Территория работ относится к южной части Прикаспийской нефтегазоносной провинции, Астрахано-Калмыцкой нефтегазоносной области. На Северном Каспии и прилегающей суше около 90% извлекаемых запасов углеводородов сосредоточено в палеозойском (подсолевом) нефтегазоносном мегакомплексе, 10% - в мезозойском (надсолевом).

В палеозойском нефтегазоносном мегакомплексе непосредственно в пределах акватории до настоящего времени открыто два нефтяных (Кашаган и Кайран) и два газоконденсатных (Актоты и Юго-Западный Кашаган) месторождения. При этом, месторождение Кашаган по запасам нефти относится к уникальным (более 300 млн.т). В непосредственной близости на суше открыто еще два уникальных месторождения: газовое Астраханское и нефтяное Тенгиз. Однако, разработка таких месторождений осложняется высоким процентом содержания серы и сероводорода во флюиде и аномально высокими давлениями в продуктивном интервале. Промышленная нефтегазоносность на изучаемой территории связана с подсолевыми отложениями от верхнего девона до нижней перми.

На мезозойский нефтегазоносный мегакомплекс на Северном Каспии в период с 2006 по 2018 г. было пробурено 18 скважин. Открыто одно крупное месторождение - Каламкас-море, несколько средних – Хазар, Ауэзов, Жамбыл, Жетысу, а также мелкие месторождения Нарын и Укатное. Однако, самая крупная структура Курмангазы, находящаяся в непосредственной близости к открытым месторождениям, по результатам бурения оказалась водонасыщенной. В отличие от палеозойских структур, мезозойские объекты обычно характеризуются небольшими размерами и запасами. Залежи УВ залегают на глубинах 1000-2000 м и приурочены к среднеюрским терригенным отложениям.

Глава 2. Интерпретация сейсмических данных

2.1. Исходные данные

В данной работе были использованы геолого-геофизические данные по Северному Каспию, включающие 15 тыс. пог. км сейсморазведочных профилей 2D, переобработанных в последние годы с применением современных графов обработки, и материалы по скважинам глубокого бурения.

Качество собранных сейсмических данных варьируется как по площади исследований, так и по глубине разреза. Его мезозойская (и кайнозойская) часть представлена геофизическими материалами хорошего и/или удовлетворительного качества, а для палеозойского интервала разреза в основном характерны данные низкого разрешения. Такая особенность сейсмической информации связана не только с тем, что большинство сейсморазведочных работ проектировалось на верхнюю часть разреза (с применением коротких кос), но и с более сложным строением палеозойского разреза, осложненным многочисленными взбросо-надвигами и соляной тектоникой.

Помимо этого, особенность в распределении качества данных на территории работ также связана со сложностью сейсмогеологических условий - предельным мелководьем. На расстоянии

~50 км от прибрежной полосы (дельта Волги) глубина воды составляет 0,5 - 2 м, что отражается в низком качестве выполненных там съемок.

2.2. Методика интерпретации

В данной работе корреляция отражающих горизонтов в южной части Северного Каспия проводилась на основе сейсмостратиграфического с элементами секвенс-стратиграфического, сейсмофациального и тектоностратиграфического анализов.

2.3. Выделение несогласий и их корреляция

При рассмотрении временных разрезов Северный Каспий можно условно разделить на 2 части:

- Северная – область распространения мощных соляных диапиров, в которой располагаются открытые в палеозойских подсолевых отложениях месторождения Кашаган, Кайран, Актоты в акватории и Астраханское и Тенгиз на суше. Отражающие горизонты прослеживаются достаточно уверенно в данной области.

- Южная – область с более сложным строением палеозойского разреза без мощных толщ солей. Трассирование отражающих горизонтов в данной области затруднено, а непосредственно на эту часть разреза была пробурена лишь одна скважина Сатпаев-1PZ.

К сожалению, передать корреляцию от северной части к южной проблематично. Это приводит к тому, что данные сейсморазведочных профилей 2D в палеозойской части разреза невозможно интерпретировать однозначно. В связи с этим ряд авторов предлагают различные тектонические схемы и модели осадконакопления палеозойских отложений в этом районе.

На региональных сейсмических данных 2D были выделены границы несогласий, отвечающие ключевым тектоническим событиям в регионе и свидетельствующие о смене тектонического режима. Сейсмокомплексы между поверхностями несогласий отражают особенности обстановок осадконакопления внутри мегасеквенций. Пример выделения тектоностратиграфических границ представлен на сейсмическом профиле (Рис. 1). Все значимые для региона границы несогласий обозначены на рисунке буквами U (unconformity), а сейсмокомплексы – ССК.

Самым крупным и значительным несогласием в регионе является предъюрское несогласие U1. Оно связано с тектоническими деформациями сжатия, перерывом в осадконакоплении и эрозией в конце триаса, обусловленными процессами коллизии микроконтинента Киммерия с Восточно-Европейской платформой.

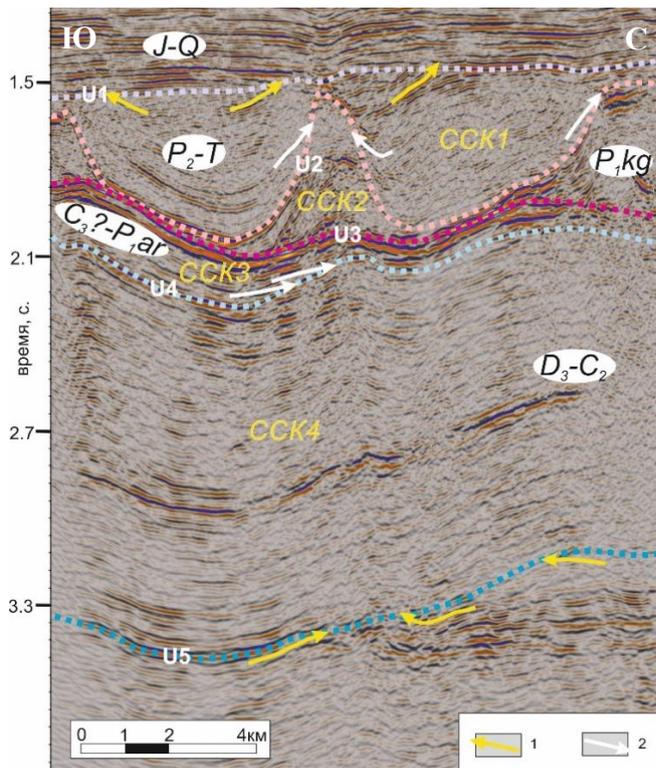


Рис. 1. Характер выраженности поверхностей несогласий и реперных горизонтов на временном разрезе

Условные обозначения: 1 – эрозионное срезание, 2 – подошвенное налегание; U1-U5 – границы несогласий, CCK1–CCK4 – сейсмокомплексы

Далее вниз по разрезу выделяются два несогласия U2 и U3, которые фиксируются, соответственно, в кровле и подошве эвапоритовых отложений. Этим отложениям на временных разрезах соответствует сейсмокомплекс CCK2, представленный хаотичным волновым полем с локально протяженными осями синфазности в его нижней части и часто имеющий характерную форму в виде соляных подушек и диапиров.

Следующее несогласие U4 хорошо фиксируется на временных разрезах в западной части изучаемой территории как поверхность подошвенного налегания по отношению к подстилающим отложениям. Согласно литературным данным, на прилегающей суше (в Каракульско-Смушковской и Южно-Эмбинской зонах, на Астраханском поднятии) и в акватории (на месторождении Кашаган и по результатам бурения скважины Каламкас-море-1) в разрезе отмечается крупное предпермское несогласие. Можно предположить, что несогласие U4 соответствует именно предпермскому времени.

Наиболее древней поверхностью несогласия, которая прослеживается на сейсмических разрезах 2D в виде поверхности эрозионного срезания, является несогласие U5. На Северном Каспии оно не вскрыто скважинами. На Астраханском поднятии в разрезе зафиксировано отсутствие отложений живетского яруса среднего девона, связанное с предпозднедевонским несогласием. Можно предположить, что данное угловое несогласие имеет предпозднедевонский возраст.

Необходимо отметить, что в районе севера Полдневско-Кулалинского вала (структура Курмангазы) на сейсмических разрезах фиксируется погружение отражающих горизонтов в

южном направлении. Южнее данного места на всех сейсмических профилях 2D отсутствуют отражения, ассоциируемые с подсолевыми отложениями.

Таким образом, основными границами несогласий в верхнепалеозойско-триасовом комплексе являются: предъюрская, предпермская и предпозднедевонская.

В рамках интерпретации сейсмических данных 2Д также было проведено трассирование разрывных нарушений. Основные нарушения приходятся на палеозойскую часть разреза. Они представляют собой взбросо-надвиги субширотного простирания.

2.4. Характеристика тектоностратиграфических комплексов

Выделенные на сейсмических профилях поверхности несогласий ограничивают в девонско-триасовом интервале разреза четыре различных тектоностратиграфических комплекса, которые образовались в течение определенного тектонического режима.

Тектоностратиграфический комплекс (ССК4), ограниченный реперами U4 и U5, фиксирует фазу относительного тектонического покоя и погружения. Он характеризуется на временных разрезах понижением частоты сейсмической записи и имеет преимущественно выдержанную временную мощность. Такая запись волнового поля характерна, прежде всего, для карбонатных отложений, которые, согласно региональным геологическим данным, образовались здесь в позднедевонско-среднекаменноугольное время.

Комплекс отложений, ограниченный реперами U3 и U4, на временных разрезах представлен разными тектоностратиграфическими комплексами в западной (ССК3) и восточной (ССК3-1) частях Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны (рис. 2).

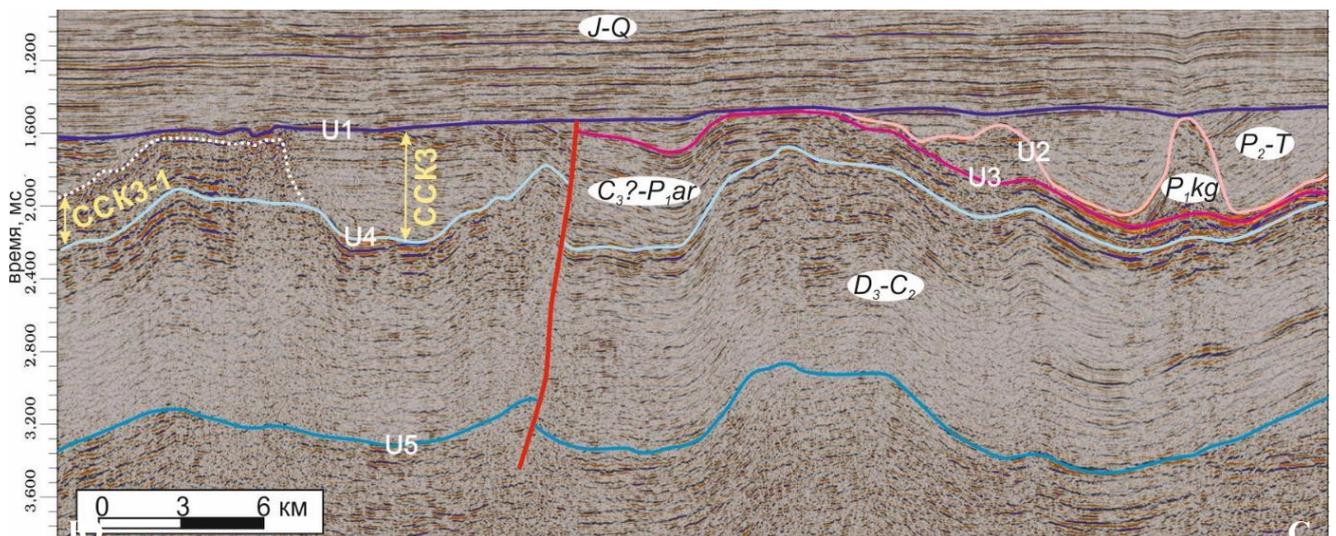


Рис. 2. Временной разрез, иллюстрирующий сейсмокомплекс ССК3 и ССК3-1

В западной части ССК3 имеет переменные толщины: в синклиналиях мощность отложений резко увеличивается, а в пределах антиклиналей уменьшается до практически полного исчезновения. Можно предположить, что комплекс отложений отражает синорогенный этап

развития и тектоническую обстановку, характерную для краевого прогиба. В восточной части зоны отмечается другая запись волнового поля (ССК3-1), заключенного между реперами U3 и U4. Сейсмокомплекс ССК3-1 вскрыт скважинами Каламкас-море-1, Ауэзов-1 и Нарын-1 под верхнетриасовыми отложениями и сложен аналогично Южно-Эмбинской зоне нижнепермскими отложениями карбонатной платформы [Пронин, Шестоперова, 2019]. Можно сделать вывод, что комплекс ССК3-1 формировался в условиях относительного тектонического покоя.

Тектоностратиграфический комплекс ССК2 сложен деформированными эвапоритовыми отложениями, а комплекс ССК1, заключенный между несогласиями U1 и U2, представлен в южной части Северного Каспия синрифтовыми отложениями.

В результате обобщенного анализа была построена тектоностратиграфическая схема (рис. 3). В Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоне в палеозойско-триасовом комплексе выделено четыре крупных тектоностратиграфических комплекса, которые соответствуют различным этапам геологической истории: (1) пострифтовому (D₃-C₂) - время относительного спокойного тектонического развития и погружения; (2) орогенному в западной части зоны, синхронному горообразованию в пределах кряжа Карпинского и формированию во фронтальной части краевого прогиба (C₃?-P₁), и этапу относительного тектонического покоя в ее восточной части; (3) этапу стабилизации с образованием соляных толщ (P₁kg) и (4) рифтовому (P₂-T), сменившемся коллизионным в конце триаса.

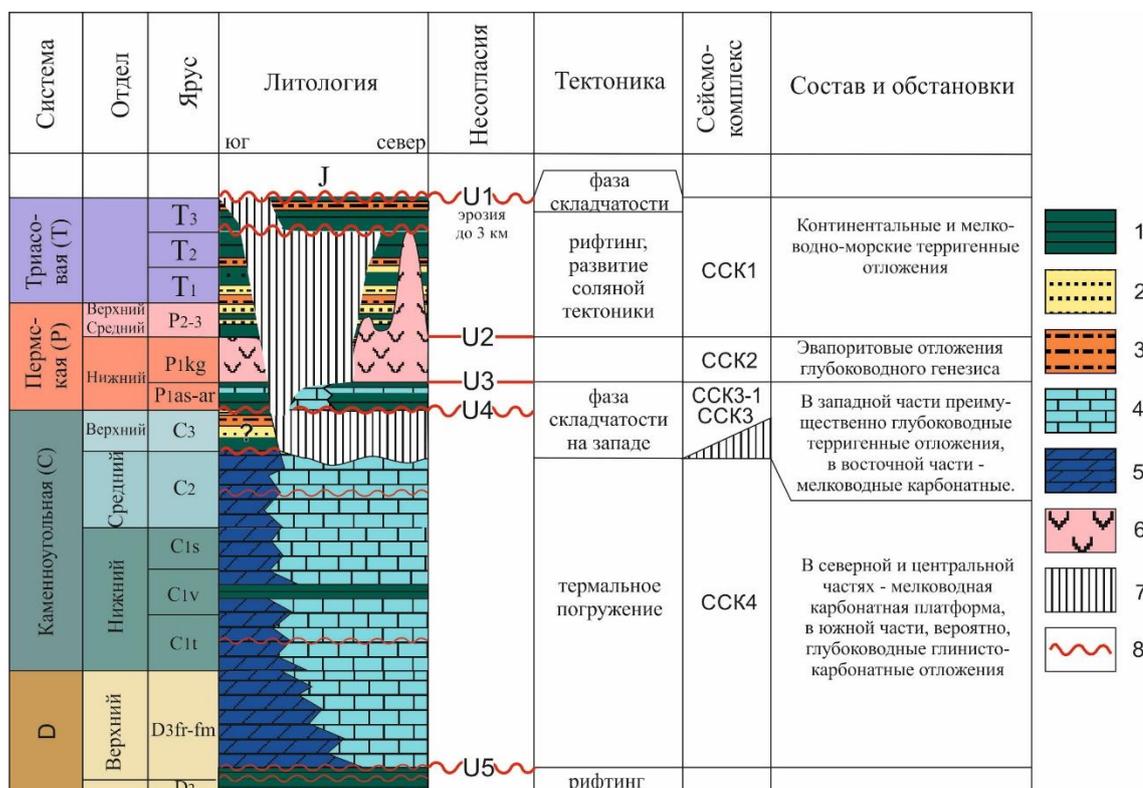


Рис. 3. Тектоностратиграфическая схема верхнепалеозойско-триасового комплекса
 Условные обозначения: 1 – глины, аргиллиты, 2 – песчаники, 3 – алевролиты, 4 – карбонаты, 5 – мергели, 6 – эвапориты, 7 – эрозия, 8 – несогласия

Глава 3. Тектоника

3.1. Тектоническое районирование

В данной работе предложена схема тектонического районирования подсолевого структурного этажа (рис. 4), которая непротиворечиво объединяет сухопутные и морские фрагменты южного обрамления Прикаспийской синеклизы. В основу тектонического районирования легла структурная карта по кровле башкирских отложений, полученная в результате интерпретации сейсмических данных, и региональные данные по южному обрамлению Прикаспийской синеклизы.

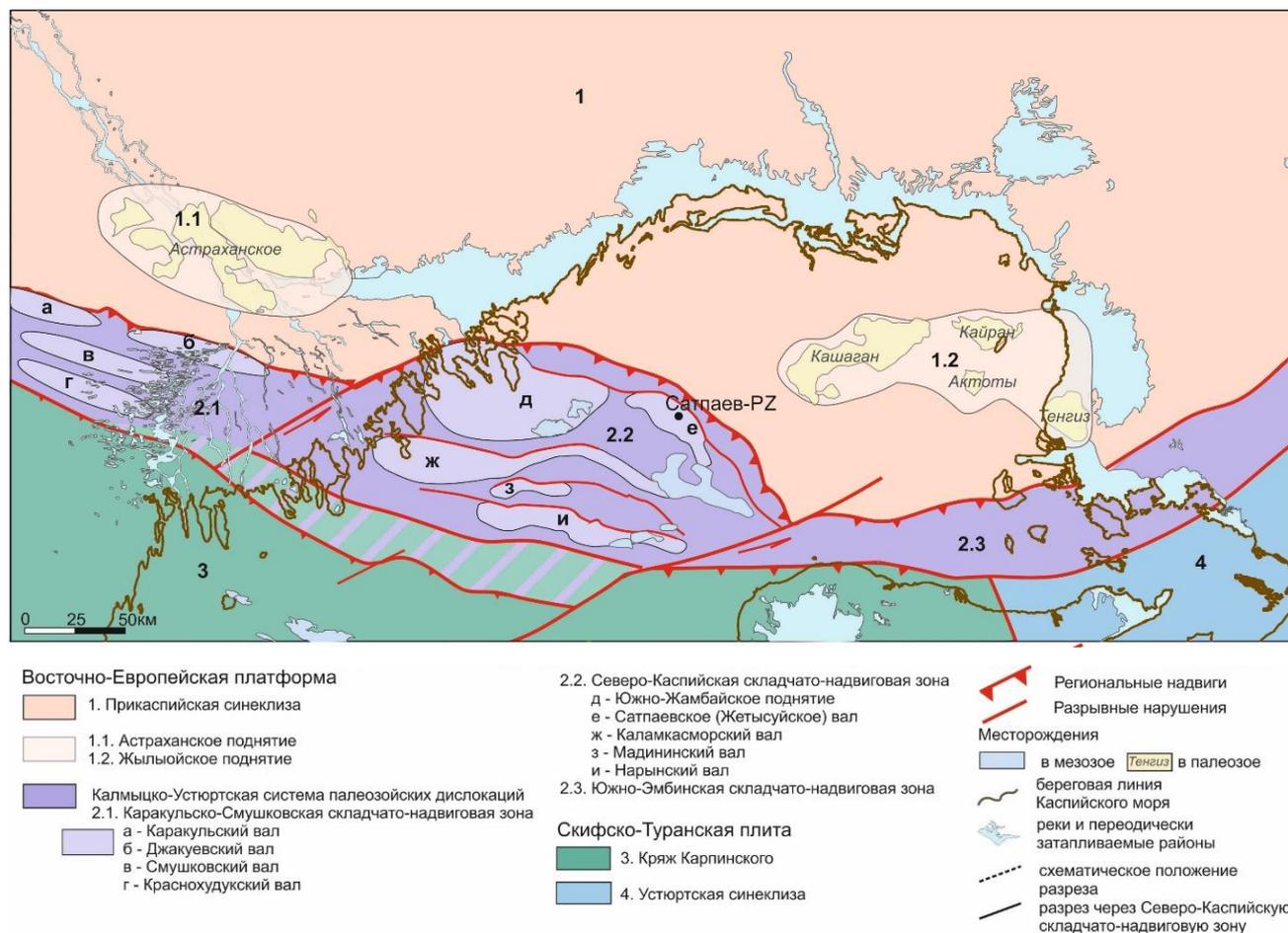


Рис. 4. Схема тектонического районирования подсолевого структурного этажа

Северный Каспий и прилегающая суша расположены на юго-восточном окончании древней Восточно-Европейской платформы. В ее пределах выделяется крупнейшая отрицательная структура I порядка – Прикаспийская синеклиза. Она характеризуется мощным развитием мощной соленосной толщи нижней перми, широким распространением солянокупольных форм и глубоким залеганием подсолевого палеозоя. В пределах синеклизы на акватории Северного Каспия выделяется Жыльойское (Кашаган-Тенгизское) поднятие, где открыты месторождения Кашаган, Кайран и Актоты.

С юга Прикаспийская синеклиза ограничена Калмыцко-Устюртской системой палеозойских дислокаций I порядка, которая включает следующие структурные элементы: Каракульско-Смушковскую, Северо-Каспийскую и Южно-Эмбинскую складчато-надвиговые зоны. Северо-Каспийская складчато-надвиговая зона расположена на акватории. В отличие от своего широтного обрамления она не изучена бурением. Ее протяженность более 160 км и ширину 60-100 км. Палеозойские отложения осложнены надвигами и взбросами, при этом южные крылья складок - пологие, северные - крутые. Отмечается субширотная ориентировка выделяемых структурных элементов: Южно-Жамбайского, Сатпаевского, Каламкасоморского, Маднинского и Нарынского валов (рис. 5). На юге Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны отмечается резкое погружение палеозойских отложений. Таким образом, данная зона представляет собой складчато-надвиговую зону с субширотной ориентировкой структурных элементов.



Рис. 5 Временной сейсмогеологический разрез через Северо-Каспийскую складчатую зону

3.2. История геологического развития

В результате проведенного тектоностратиграфического анализа в Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоне в палеозойско-триасовом комплексе выделено четыре крупных тектоностратиграфических комплекса, которые соответствуют различным этапам геологической истории.

Позднедевонско-среднекаменноугольный период развития

В досреднедевонское время на месте Прикаспийской синеклизы происходило формирование рифтового бассейна с грабенами и полуграбенами и накоплением мощного синрифтового комплекса осадков. По южному краю Прикаспийского бассейна существовал раннедевонский вулканический пояс [Волож, Парасына, 2008]. В позднем девоне останцы вулканической дуги образовали Астрахано-Актюбинскую зону поднятий, включавшую территории современных Астраханского и Жылыойского поднятий и, вероятно, Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны. Эти палеоподнятия послужили фундаментом для

дальнейшего образования карбонатных платформ, рост которых начался в позднем девоне. Данный этап продолжался в ранне- и среднекаменноугольную эпохи и характеризовался различной интенсивностью карбонатообразования, а также небольшими перерывами в осадконакоплении. Сейсмокомплекс ССК4 отражает рассматриваемый временной интервал развития региона.

Позднекаменноугольно-раннепермский период развития

Как было отмечено выше, западная и восточная части территории исследования в позднекаменноугольно-раннепермское время развивались по-разному.

Согласно современному тектоническому плану по подсолевому структурному этажу Северо-Каспийская складчато-надвиговая зона является продолжением Каракульско-Смушковской складчато-надвиговой зоны, в которой в позднекаменноугольно-раннепермское время развивался краевой прогиб, заполнявшийся продуктами разрушения горной системы Карпинского (ныне это территория кряжа Карпинского). В позднекаменноугольное время в пределах этой территории проявилась первая фаза складчатости, а следующая - на рубеже карбона и перми. В западной части Северного Каспия расположены скважины Укатная-1, Жамбыл-1, Жетысу-1, которые не были добурены до верхнекаменноугольно-нижнепермского комплекса (рис. 6). Скважина Сатпаев-1PZ вскрыла около 1 км разреза нижнепермских глубоководных глин, в которых и была остановлена [Пронин, Шестоперова, 2020].

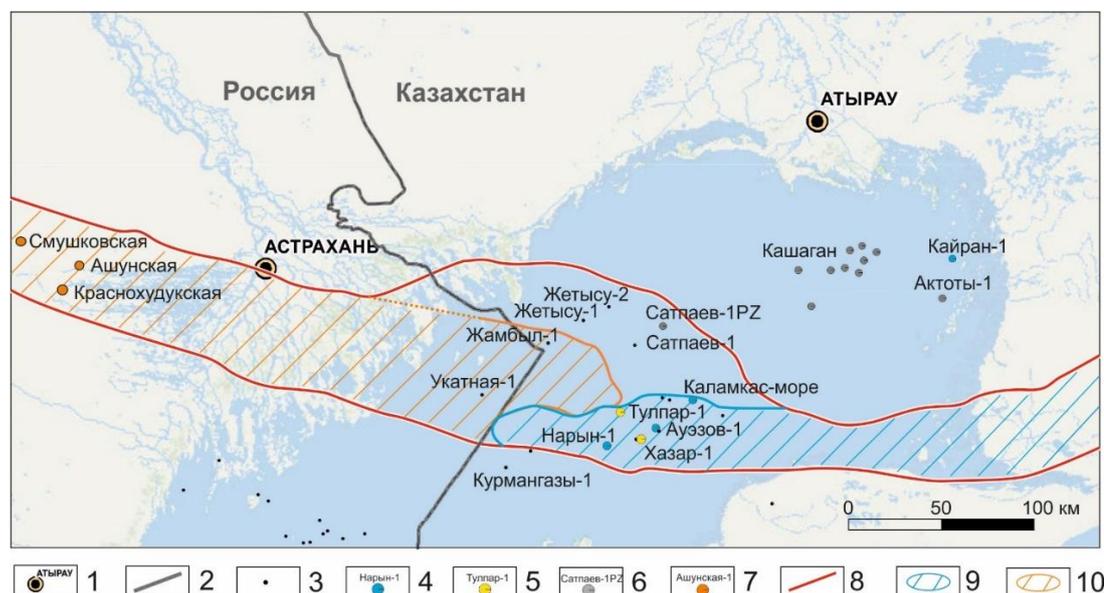


Рис. 6. Обзорная карта структурных элементов и распространения комплексов пород в ассельско-артинское время

Условные обозначения: 1 – крупные города, 2 – граница РФ и Казахстана, 3-7 – скважины, а которых ассельско-артинские отложения: 3 – не вскрыты, 4 – карбонатные, 5 – отсутствуют (эродированы), 6 – глубоководные глинистые, 7 – терригенные (отложения краевого прогиба), 8 – границы тектонических элементов по кровле палеозойского комплекса, 9 – предполагаемая граница нижнепермского карбонатного комплекса, 10 – предполагаемая граница Каракульско-Смушковского раннепермского краевого прогиба.

Рассматриваемый этап развития в западной части Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны фиксируется сейсмокомплексом ССКЗ, характеризующимся переменными толщинами. Этот сейсмокомплекс связан, вероятно, с отложениями краевого прогиба (как продолжение Каракульско-Смушковского) и представлен продуктами разрушения горной системы Карпинского.

Иной характер развития в позднекаменноугольно-раннепермское время проявился в Южно-Эмбинской зоне, расположенной к востоку от изучаемой территории. В позднем карбоне резкое падение уровня моря привело здесь к частичному размыву ранее накопившихся отложений в области приподнятых участков и карбонатных построек. После длительного перерыва в осадконакоплении в раннепермское время произошла трансгрессия моря и продолжилось карбонатонакопление [Абилхасимов, 2016]. Как было отмечено нами выше, согласно результатам бурения и анализу сейсморазведочных данных, восточная часть современной Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны в среднекаменноугольное и раннепермское время представляла собой мелководную карбонатную платформу и являлась, вероятно, продолжением Южно-Эмбинской зоны (рис. 6). Необходимо отметить, что северная и западная границы этой платформы картируются достаточно уверенно, а южная проведена условно. Эти границы хорошо согласуются с результатами более ранних исследований [Пронин, Шестоперова, 2019]: в разрезах скважин Каламкас-море-1 вскрыты склоновые отложения нижнепермской карбонатной платформы, а в скважине Ауэзов-1 – мелководные.

Кунгурский этап развития

К началу кунгурского века бассейн осадконакопления в пределах современной Прикаспийской синеклизы стал изолированным и в нем накапливались эвапориты, которые частично нивелировали рельеф глубоководной впадины. Отложение пород этого комплекса стало ключевым фактором активного проявления впоследствии процессов галокинеза.

Среднепермско-триасовый период развития

В средней-поздней перми и триасе в пределах современной Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны терригенные отложения заполняли пониженные формы рельефа. На территории Прикаспийской синеклизы под нагрузкой молодых осадков начался рост соляных диапиров. В то же время на юге исследуемой территории проявились процессы рифтогенеза.

Ниже подробнее рассмотрена история развития южной части Северного Каспия. Она расположена на границе Восточно-Европейской платформы и кряжа Карпинского. Последний находится на продолжении девонского рифта Донбасса, поэтому предполагается, что в девоне на месте кряжа Карпинского также развивался рифтовый бассейн, который в позднекаменноугольном и раннепермском периоде был инверсирован (вовлечен в процессы орогении), что сопровождалось формированием краевого прогиба. В средней-поздней перми и

раннем-среднем триасе на этой территории вновь проявился рифтинг с формированием глубоких (до 3-5 км) рифтовых впадин. Одна из них располагалась на юге исследуемой территории (под Кулалинским валом). Примерно в конце триаса в регионе проявились процессы интенсивного сжатия. Большинство рифтовых палеобассейнов испытало инверсию тектонических движений с образованием складчато-надвиговых структур. Деформации сжатия в значительной степени осложнялись сдвиговыми смещениями. В современном структурном плане толщи триасовых бассейнов проявлены на разрезах в виде остаточных после деформаций и эрозии комплексов пород. Наиболее полный разрез рифтового комплекса вскрыт на полуострове Бузачи.

Предыдущими исследователями область развития среднепермско-триасового рифта на территории Каспийского моря не была закартирована. Отложения рифтового комплекса значительной мощности вскрыты в пределах акватории в разрезах скважин Курмангазы-1 (1077 м среднетриасовых отложений) и Тюб-Караган-1 (около 620 м нижнетриасовых отложений). Большая часть скважин в пределах Каспийско-Мангышлакской системы поднятий, выделяющейся по мезозойским отложениям, остановлена в юрских отложениях. В пределах Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны скважины на структурах Хазар, Ауэзов, Тулпар и Каламкас-море вскрывают лишь небольшую мощность (менее 100 м) верхнетриасовых отложений, залегающих на среднекаменноугольных или нижнепермских карбонатных породах (рис. 7).

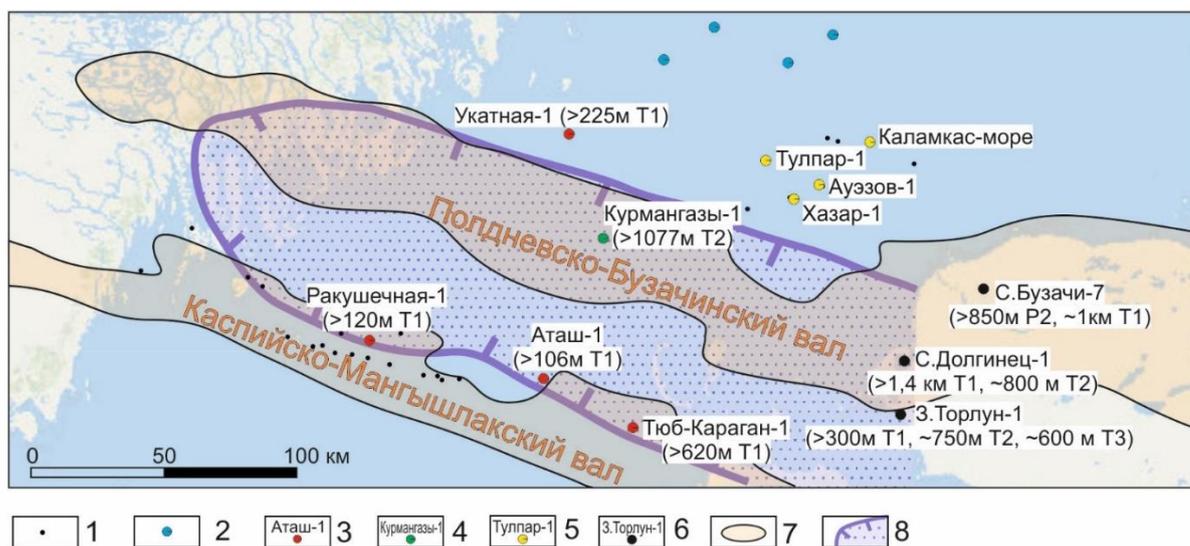


Рис. 7. Обзорная карта структурных элементов и скважин, вскрывших среднепермско-триасовые отложения

Условные обозначения: 1 – скважины, остановленные в юрских отложениях, 2-6 скважины, вскрывшие под юрскими отложениями: 2 – нерасчлененные среднепермско-триасовые отложения, 3 – нижнетриасовые отложения, 4 – среднетриасовые отложения, 5 – верхнетриасовые отложения при полном отсутствии среднепермско-среднетриасовых, 6 – различные комплексы рифтовых отложений большой мощности, 7 – системы поднятий по мезозойским отложениям, 8 – предполагаемая граница распространения среднепермско-триасового рифта)

По имеющимся сейсмическим данным в южной части Северного Каспия выделяется инверсированный прогиб, сложенный среднепермско-триасовыми отложениями. На сейсмических профилях синрифтовый комплекс имеет отчетливую верхнюю границу (U1). Подошвой предполагаемого синрифтового комплекса в его северной части является яркое динамичное отражение, выше которого видны четкие оси синфазности, а ниже протяженные отражения практически отсутствуют. В южном направлении корреляция нижней границы комплекса затруднена и весьма неоднозначна. В западном направлении в пределах акватории отложения палеорифта выходят под поверхность предъюрского размыва.

Северной границей остаточного палеорифта является северный склон Полдневско-Бузачинской системы поднятий. Севернее него останцы среднепермско-триасовых отложений сохранились лишь в локальных впадинах. Среднепермско-триасовые отложения северной части Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны (район расположения скважин Сатпаев, Жамбыл и Жетысу) и юга Прикаспийской впадины имеют схожее строение и не являются палеорифтовыми образованиями.

Южная граница остаточного палеорифтового комплекса фиксируется по сейсмическим данным не так однозначно в связи с отсутствием реперных отражающих горизонтов в среднепермско-триасовых отложениях. Предположительно, она располагается под Каспийско-Мангышлакской системой поднятий. По юрско-меловым отложениям данной зоне отвечает зона правосторонний сдвига.

Следует отметить, что среднепермско-нижнетриасовые отложения имеют максимальную мощность в районе Северо-Ракушечного и Южно-Бузачинского прогибов (между Полдневско-Бузачинской и Каспийско-Мангышлакской системами поднятий). В северном направлении их мощность уменьшается. Можно предположить, что палеорифт имел асимметричное строение. Главный разлом, который контролировал этот палеорифт, располагался, вероятно, на юге под современной Каспийско-Мангышлакской системой поднятий.

Таким образом, комплексы пород остаточного рифта в пределах акватории распространены в субмеридиональном направлении от северного склона Полдневско-Бузачинской системы поднятий до Каспийско-Мангышлакской системы поднятий и в субширотном направлении – от западной границы Каспийского моря уходя далее под Бузачинский полуостров. Предлагается именовать этот среднепермско-триасовый палеорифт Полдневско-Бузачинским.

В конце триаса закрытие океана Палеотетис привело к началу коллизионных процессов на современном Северном Каспии. В ходе доюрских процессов воздымания и деформаций было эродировано около 1-2, а возможно, и более километров пермско-триасового комплекса и местами нижележащих отложений. Складчато-надвиговые деформации были значительно

осложнены сдвиговыми перемещениями. На месте современных Каракульско-Смушковской, Северо-Каспийской и Южно-Эмбинской зон сформировалась горная система с последующим проявлением в их пределах процессов эрозии пород мощностью до нескольких км.

Активизация тектонических движений в юрско-четвертичное время (киммерийская и альпийская фазы складчатости) практически не оказала влияния на строение палеозойского структурного этажа, в котором происходили лишь малоамплитудные смещения по существующим тектоническим нарушениям.

Таким образом, значительное влияние на развитие и структурный план верхнепалеозойского структурного этажа оказали две фазы складчатых деформаций: позднекаменноугольно-раннепермская и поздне триасовая, а также среднепермско-триасовый рифтинг.

Глава 4. Область развития кунгурских соленосных отложений

Кунгурские отложения вскрыты на многих площадях Прикаспийской синеклизы. В акваториальной части Прикаспийской синеклизы наличие эвапоритовых толщ мощностью первые км не вызывает сомнений: они вскрыты скважинами на месторождениях Кашаган, Кайран, Актоты и выделяются на временных разрезах в виде интервалов с хаотичным волновым полем и\или характерной для соляных подушек? и диапиров морфологией. Соляная тектоника оказывала влияние на мезозойские отложения: над соляными куполами в этой части разреза отмечаются пликативные деформации чехла и развитие амплитудных (до первых сотен метров) сбросовых нарушений.

В Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоне скважины Жетысу-1 и Сатпаев-1PZ вскрыли кунгурские эвапориты. На временных разрезах в районе скважин эвапоритовой толще согласно стратиграфической привязке соответствует интервал с хаотичным волновым полем с локально протяженными осями синфазности в его нижней части (рис. 8).

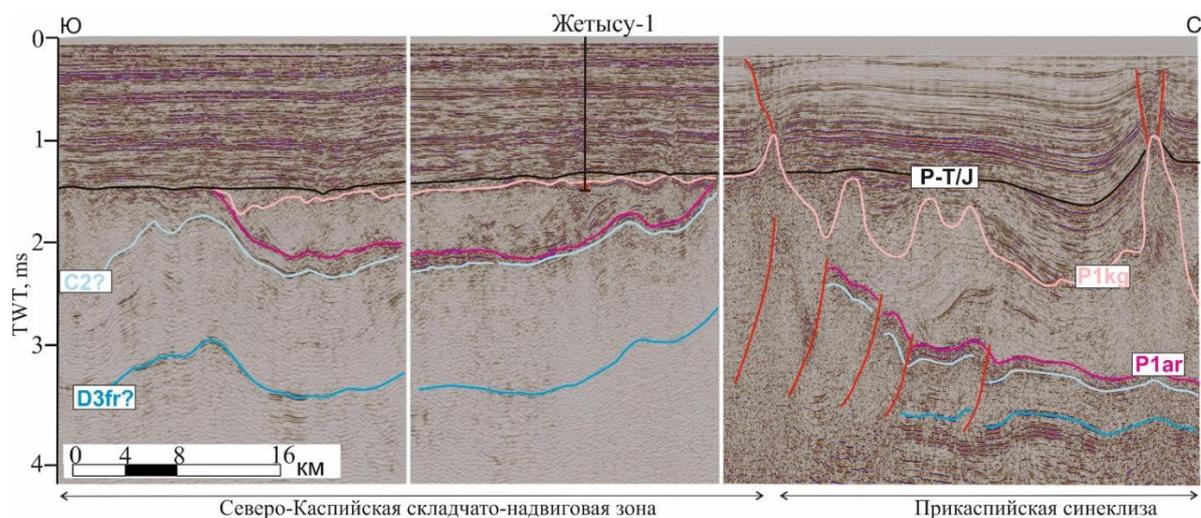


Рис. 8 Временной сейсмический разрез через зону сочленения Северо-Каспийской складчато- надвиговой зоны и Прикаспийской синеклизы

Таким образом, в северной части Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны фиксируется достаточно мощная (до 1,5 км) эвапоритовая толща, местами с диапирами, прорывающих мезозойский комплекс. Мощность кунгурских отложений уменьшается в южном направлении до сотен метров, а затем этот интервал разреза выходит под поверхность предъюрского несогласия.

В центральной части Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны на всех сейсмических профилях 2D отсутствует сейсмокомплекс, надежно ассоциируемый с эвапоритовой толщей. Подтверждением факта локального отсутствия в разрезе верхнекаменноугольно-среднетриасовых отложений являются результаты бурения скважин Хазар-1 и Тулпар-1, где под верхнетриасовыми породами вскрыли десятки метров карбонатных отложений московского возраста (С_{2m}). Необходимо также отметить, что эти скважины пробурены на валах Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны. В пределах локальных прогибов возможно присутствие небольших по мощности толщ эвапоритов, однако доказательства этого в настоящее время отсутствуют.

Южная часть Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны заметно отличается от центральной и северной. Здесь в разрезе отсутствуют отражения, ассоциируемые с подсолевыми комплексами, и появляется мощная толща среднепермско-триасовых отложений. Наличие эвапоритов вблизи крыжа Карпинского является дискуссионным вопросом, поскольку в этой части территории нет ни одной скважины, вскрывшей кровлю солей. Передача корреляции отражающего горизонта из Прикаспийской синеклизы, где наличие солей доказано, также является неоднозначной, однако на сейсмических разрезах вблизи крыжа Карпинского в интервале предположительно кунгурских отложений выделяются тела линзовидной и куполовидной формы, согласно перекрытые более молодыми породами (рис. 9).

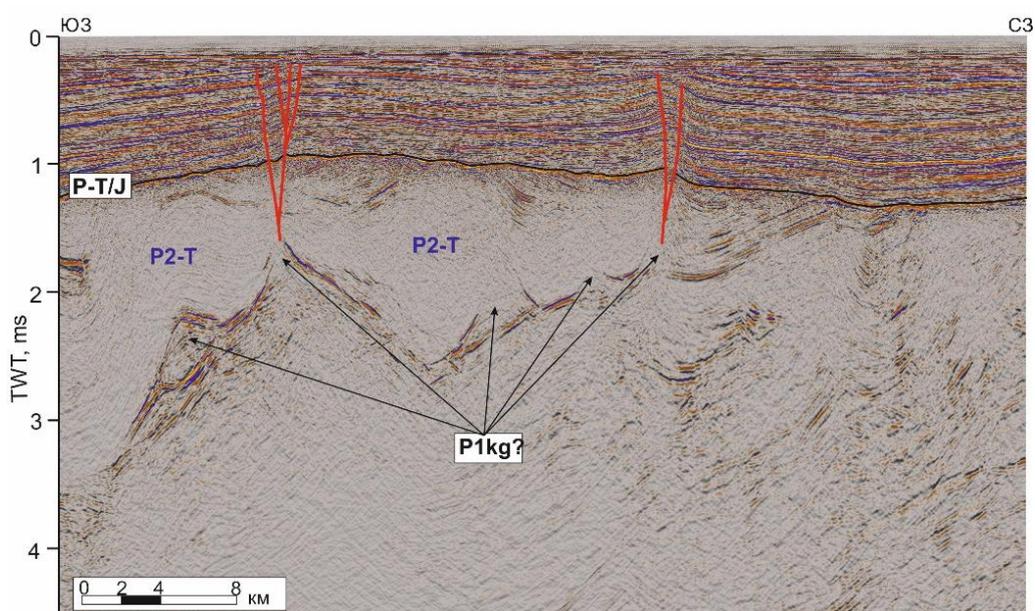


Рис. 9 Временной сейсмический разрез через южную часть Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны

Характер волновой картины и взаимоотношения отражающих границ в кровле и подошве этих тел, а также над ними, позволяет предположить, что это соляные подушки, сформировавшиеся в триасовое (позднетриасовое?) время. Локальная зона увеличения толщин кунгурских (?) отложений вблизи кряжа Карпинского приурочена к зоне тектонических нарушений сдвиговой природы: цветковая геометрия серии разломов, типичная для сдвиговых зон (зон трансенсии?), хорошо идентифицируется в верхней части разреза, в отложениях мезозоя. Образование соляных куполов и подушек вдоль зон тектонических нарушений является одной из особенностей соляной тектоники. Приуроченность зон повышенных толщин предполагаемых кунгурских отложений к тектоническим нарушениям (связанное, возможно, с локальным проявлением присдвигового растяжения) можно рассматривать как дополнительный фактор, позволяющий прогнозировать наличие солей и в южной части Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны.

Таким образом, исходя из наличия и морфологических особенностей проявления кунгурской сульфатно-галогенной толщи, акваторию Северного Каспия можно условно разделить на 3 области (рис. 10). Самая северная из них – это область распространения соляных диапиров, охватывающая Прикаспийскую синеклизу и северную часть Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны. Наличие солей и ангидритов здесь подтверждено результатами бурения скважин. Южнее расположена область эрозии кунгурских отложений. Самой неоднозначной является южная часть Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны, где на единичных сейморазведочных профилях фиксируются тела, морфологически ассоциируемые с соляными подушками. При этом наличие здесь выдержанных по площади (маломощных) соленосных кунгурских отложений остаётся предметом дискуссии.

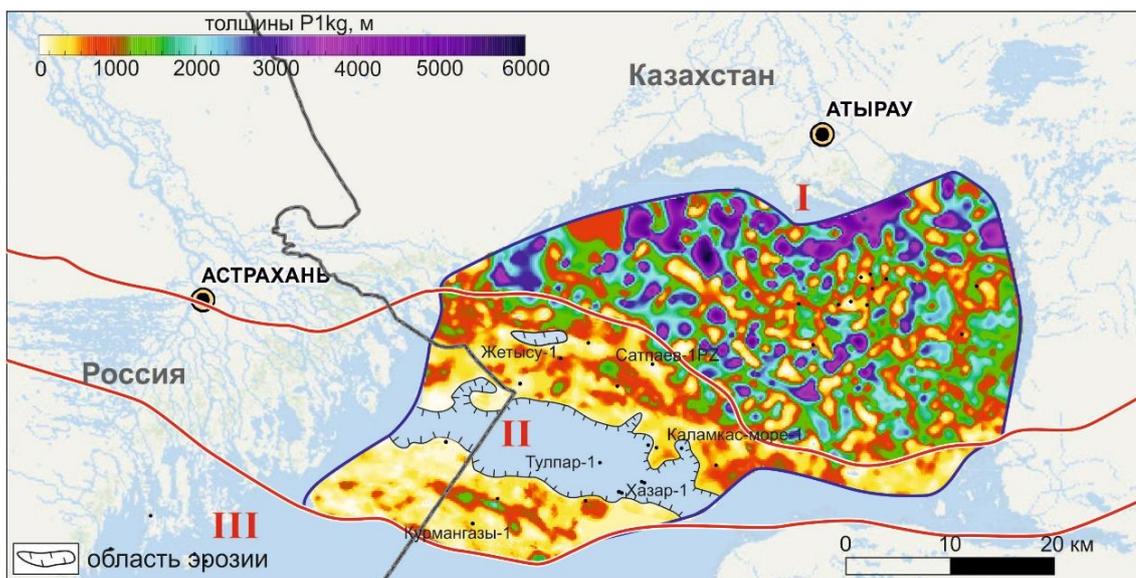


Рис. 10 Карта толщин эвапоритовой толщи кунгурского яруса нижней перми
 I – Прикаспийская синеклиза, II – Калмыцко-Устюртская система палеозойских дислокаций, III
 – Кряж Карпинского

Глава 5. Перспективы нефтегазоносности

Поскольку ранее основное внимание геологов-нефтяников было обращено в южной части Северного Каспия на мезозойский комплекс, а верхнепалеозойский комплекс практически не изучен бурением, полученные в работе результаты и выводы представляют интерес для прогноза углеводородного потенциала палеозойских отложений.

В работе рассмотрены все элементы палеозойской нефтегазовой системы: коллекторы, покрышки, наличие и зрелость нефтегазоматеринских толщ, пути миграции углеводородов. По результатам исследований Северо-Каспийскую складчато-надвиговую зону можно условно разделить на: южную (субширотная территория поднятия Курмангазы) с высокими рисками по наличию в ее пределах пород-коллекторов, флюидоупоров, НГМТ и путей миграции УВ, центральную с высокими рисками по наличию пород-флюидоупоров и северную, где ключевые геологические риски в целом ниже. Для всей Северо-Каспийской зоны характерны риски, связанные с сохранностью прогнозируемых залежей.

Заключение

Анализ всех имеющихся геолого-геофизических данных позволил охарактеризовать палеозойский интервал разреза в южной части Северного Каспия. В результате проведенных исследований подтверждены ранее сделанные предположения Воложа Ю.А., Абилхасимова Х.Б., Антипова М.П., Никишина А.М., Марабаев Ж.Н., Жолтаева Г.Ж., Соборнова К.О. и др. о сложном складчато-надвиговом строении южной части Северного Каспия, которую предложено называть Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоной. Автором детализировано положение палеозойских складок внутри данной зоны. Отмечается субширотная ориентировка выделяемых структурных элементов.

В истории геологического развития Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны можно выделить пять крупных этапов.

1. Позднедевонско-среднекаменноугольный этап отличался стабилизацией условий осадконакопления на большей части территории с различной интенсивностью карбонатообразования и небольшими перерывами в осадконакоплении. Лишь область современной Южно-Эмбинской надвиговой зоны в то время была частью краевого прогиба.

2. Позднекаменноугольно-раннепермский этап характеризовался различными обстановками. В западной части современной Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны зафиксировано формирование краевого прогиба (как продолжение Каракульско-Смушковского краевого прогиба), который заполнялся продуктами разрушения горной системы Карпинского (области современного кряжа Карпинского). В то же время в восточной части происходило

накопление карбонатного комплекса, продолжающего Южно-Эмбинскую карбонатную платформу.

3. Кунгурскому веку соответствует кратковременный этап стабилизации. Бассейн осадконакопления в пределах современной Прикаспийской синеклизы стал изолированным, в нем накапливались эвапориты, которые практически полностью нивелировали рельеф глубоководной впадины после некомпенсированного прогибания. В пределах современной Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны происходило накопление небольших толщ эвапоритов, вероятно, с преобладанием ангидритов. В центральной части данной зоны кунгурские отложения эродированы.

4. В среднепермско-триасовый этап на юге исследуемой территории формировался Полдневско-Бузачинский асимметричный рифт. В конце триаса в результате коллизионных процессов образовалась Калмыцко-Устюртская система палеозойских дислокаций, часть которой – Северо-Каспийская складчато-надвиговая зона. В ходе доюрских деформаций и воздымания было сэродировано 1–2 км, а вероятно и более, пород пермо-триасового комплекса, местами и нижележащих отложений (вплоть до среднекаменноугольных).

5. Юрско-четвертичное время характеризовалось относительной стабильностью развития территории. Активизация тектонических движений в конце юрского периода и начале палеогена практически не оказала влияния на строение палеозойского структурного этажа, в котором происходили лишь малоамплитудные смещения по существующим тектоническим нарушениям.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

**Статьи, опубликованные в журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защит в диссертационном совете МГУ, по специальности 1.6.1 –
Общая и региональная геология. Геотектоника и геодинамика**

1. **Куницына И.В.**, Дердуга А.В., Никишин А.М., Короткова М.А. Тектоническое строение и история развития палеозойского комплекса Северного Каспия // Геология нефти и газа. – 2020. – №3. – С. 11-17. <https://doi.org/10.31087/0016-7894-2020-3-11-18> RSCI (0,924 п.л., личный вклад – 80%, импакт-фактор в РИНЦ – 0,922)
2. **Куницына И.В.**, Дердуга А.В., Альмендингер О.А., Малышев Н.А., Хайруллина Е.А., Вержбицкий В.Е., Митюков А.В. Региональная геологическая модель как основа для обоснования новых направлений поиска углеводородов в хорошо изученных шельфовых регионах (на примере Северного Каспия) // Нефтяное хозяйство. – 2021. – №9. – С23-27. <https://doi.org/10.24887/0028-2448-2021-9-23-27> RSCI (0,67 п.л., личный вклад – 80%, импакт-фактор в РИНЦ – 0,657)
3. **Куницына И.В.**, Дердуга А.В., Васильева Н., Вержбицкий В.Е., Малышев Н.А., Хайруллина Е.А. Прогноз распространения кунгурских соленосных отложений в пределах Северного Каспия // Геология нефти и газа. – 2022. – №3. – С. 17-27. <https://doi.org/10.31087/0016-7894-2022-3-17-27> RSCI (1,27 п.л., личный вклад – 80%, импакт-фактор в РИНЦ – 0,922)
4. **Куницына И.В.**, Никишин А.М., Малышев Н.А., Вержбицкий В.Е., Костенко О.В. Тектоностратиграфия и история геологического развития Северо-Каспийской складчато-надвиговой зоны // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. – 2022. – № 5. – С. 35-46. RSCI (1,5 п.л., личный вклад – 80%, импакт-фактор в РИНЦ – 0,755)