

УДК 551.2:551.3

МРНТИ 38.21.01

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108687>

Получена: 30.10.2023.

Одобрена: 06.06.2024.

Опубликована: 30.06.2024.

Научный обзор

Особенности строения кунгурской соленосной формации и соляная тектоника на юго-востоке Прикаспийской впадины

К.Н. Ибрашев, А.Ж. Ахметжанов, В.Г. Жемчужников, Г.А. Ахметжанова,
С.К. Увакова, Н.Р. Галиев

Казахстанско-Британский технический университет, г. Алматы, Казахстан

АННОТАЦИЯ

В статье проанализированы особенности формирования Прикаспийского солеродного бассейна и солянокупольной тектоники на юго-востоке впадины. Предложена модель бассейна соленакпления, связанная с его изоляцией от акватории океана Палеотетис и однонаправленным притоком вод, который в условиях интенсивной аридизации привёл к выпадению эвапоритов, в т.ч. и мощных пластов каменной соли. Выделены активный, пассивный и реактивный механизмы галотектоники, обусловившие формирование соляных куполов и диапиров. Первый и последний случаи определялись в развитии с участием разломной тектоники, механизм пассивной галотектоники связывается с проградирующим клином (постепенным боковым наращиванием) толщи и увеличением нагрузки вышележащих пород. Соляные купола рассматриваются как связанные с засыпанием бассейна терригенной кластикой и перемещением соляных пластов от бортов к центру. Позднее проявились соляные диапиры, обусловленные тектоническим стрессом при формировании северной окраины Палео- и Неотетиса, его замыкании и коллизии мелких иранских континентальных блоков островными дугами и аккреционными призмами, происходящими с юга от Прикаспийской впадины.

Ключевые слова: Прикаспийская впадина, солеродный бассейн, кунгурский ярус, пермская система, надсолевые отложения, соляная тектоника.

Как цитировать:

Ибрашев К.Н., Ахметжанов А.Ж., Жемчужников В.Г., Ахметжанова Г.А., Увакова С.К., Галиев Н.Р. Особенности строения кунгурской соленосной формации и соляная тектоника на юго-востоке Прикаспийской впадины // Вестник нефтегазовой отрасли Казахстана. 2024. Том 6, №2. С. 8–24. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108687>.

UDC 551.2:551.3

CSCSTI 38.21.01

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108687>

Received: 30.10.2023.

Accepted: 06.06.2024.

Published: 30.06.2024.

Review article

Structural features of the Kungur salt-bearing formation and salt tectonics in the South-East of North Caspian Basin

Kenzhebek N. Ibrashev, Aitbek Zh. Akhmetzhanov, Vyacheslav G. Zhemchuzhnikov, Gauhar A. Akhmetzhanova, Saule K. Uvakova, Nurzhan R. Galiyev

Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan

ABSTRACT

The article analyzes the features of the formation of the Precaspian salt basin and salt dome tectonics in the southeast of the depression. It presents a model of a salt accumulation basin that is linked to its isolation from the Paleotethys Ocean and a unidirectional water inflow. These factors resulted in the deposition of evaporites including thick layers of rock salt under conditions of intense aridification. The halotectonic mechanisms responsible for the formation of salt domes and diapirs were found to be active, passive, and reactive. The first and last cases were identified through the involvement of fault tectonics in the development; the mechanism of passive halotectonics is associated with a prograding wedge, or gradual lateral buildup, of the strata and the rise in the load of overlying rocks. Salt domes are considered to be related to the filling of the basin with terrigenous clastics and the movement of salt layers from the sides to the center. Later, salt diapirs were manifested due to tectonic stress during the formation of the northern margin of the Paleo- and Neotethys, its closure and the collision of small Iranian continental blocks, island arcs and accretionary prisms originating from the south of the Caspian basin.

Key words: *North Caspian basin; salt basin; Kungurian stage; Permian system; post-salt deposits; salt tectonics.*

To cite this article:

Ibrashev KN, Akhmetzhanov AZ, Zhemchuzhnikov VG, Akhmetzhanova GA, Uvakova SK, Galiyev NR. Structural features of the kungur salt-bearing formation and salt tectonics in the south-east of North Caspian Basin. *Kazakhstan journal for oil & gas industry*. 2024;6(2):8–24. DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108687>.

ӨОЖ 551.2:551.3

ГТАХР 38.21.01

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108687>

Қабылданды: 30.10.2023.

Мақұлданды: 06.06.2024.

Жарияланды: 30.06.2024.

Ғылыми шолу

Каспий маңы ойпатының оңтүстік-шығысындағы кунгур тұзды құрылымының және тұз тектоникасының құрылымдық ерекшеліктері

К.Н. Ибрашев, А.Ж. Ахметжанов, В.Г. Жемчужников, Г.А. Ахметжанова,
С.К. Увакова, Н.Р. Ғалиев

Қазақстан-Британ техникалық университеті, Алматы қаласы, Қазақстан

АННОТАЦИЯ

Мақалада ойпаттың оңтүстік-шығысындағы Каспий тұзды алабы мен тұзды күмбез тектоникасының қалыптасу ерекшеліктері талданады. Палеотетис мұхитынан оқшаулануымен және қарқынды аридизация жағдайында буланулардың, соның ішінде тас тұзының қалың қабаттарының жауын-шашынына әкелетін судың бір бағытты ағынымен байланысты тұзды жинақтау бассейнінің моделі ұсынылған. Тұз күмбездері мен диапирлердің түзілуін анықтайтын галотектониканың белсенді, пассивті және реактивті механизмдері анықталған. Бірінші және соңғы жағдайлар бұзылу тектоникасының қатысуымен дамуымен анықталды, пассивті галотектоника механизмі қабаттардың ілгерілеуші сынасымен (біртіндеп бүйірлік жиналуымен) және жатқан тау жыныстарының жүктемесінің жоғарылауымен байланысты. Тұз күмбездері алаптың терригенді кластиктермен толтырылуымен және тұз қабаттарының бүйірден орталыққа қарай жылжуымен байланысты деп саналады. Кейінірек палео- және нео-Тетистің солтүстік жиегінің қалыптасуы, оның жабылуы және Каспий маңы ойпатының оңтүстігінен шыққан шағын ирандық континенттік блоктардың, аралдық доғалардың және аккрециялық призмалардың соқтығысуы кезіндегі тектоникалық кернеулерден туындаған тұзды диапирлер пайда болды.

Негізгі сөздер: Каспий маңы ойпаты, тұз алабы, кунгур сатысы, пермь жүйесі, тұздан кейінгі шөгінділер, тұз тектоникасы.

Дәйексөз келтіру үшін:

Ибрашев К.Н., Ахметжанов А.Ж., Жемчужников В.Г., Ахметжанова Г.А., Увакова С.К., Ғалиев Н.Р. Каспий маңы ойпатының оңтүстік-шығысындағы кунгур тұзды құрылымының және тұз тектоникасының құрылымдық ерекшеліктері // Қазақстанның мұнай-газ саласының хабаршысы. 2024. 6 том, №2. 8–24 б.

DOI: <https://doi.org/10.54859/kjogi108687>.

Введение

Прикаспийская впадина, расположенная на западе Казахстана, – это уникальный солеродный бассейн (рис. 1). Его формирование началось в конце ранней перми, на завершающем этапе Уральской орогении, когда в результате коллизии Восточно-Европейского и Сибирского палеоконтинентов, а также палеозойского континента Казахстана и более мелких континентальных блоков Центральной Азии произошло замыкание Урало-Монгольского палеокеана (Протететиса). На месте современного Прикаспия сформировалась морская котловина, отшурованная от формирующегося по восточному побережью суперконтинента Пангея заливообразного океана Палеотетис [1, 2]. Формой и размерами эта котловина почти совпадала с современной котловиной Прикаспийской впадины, и через узкий пролив она сообщалась с Палеотетисом. Располагаясь в низких тропических палеоширотах, Прикаспийская впадина стала местом, где началось интенсивное накопление эвапоритов.

В результате этих процессов сформировалась осадочная толща самых верхов палеозоя, мезозоя и в меньшей степени кайнозоя, внизу сложенная кунгурской солью с прослоями ангидритов, а также терригенно-карбонатных пород (рис. 2–3).

Сам тип бассейна и стиль осадконакопления можно сопоставить с современным заливом Карабогаз-Гол, где в результате интенсивного прогрева морских вод в неглубокой, но широкой по размерам акватории за счёт интенсивного испарения происходит современное соленакопление [2–4].

По данным сейсморазведки, гравиразведки и на основании расчётов первичная седиментационная толщина соли в центре впадины могла достигать 4,5 км, а на бортах 1–2,5 км [5, 6]. Здесь широко проявилась солянокупольная тектоника, что привело к образованию более 1500 соляных куполов и диапиров с различными формами, размерами, высотой прорыва перекрывающих толщ и разнообразными комбинациями структур в плане. Солянокупольная тектоника определяет

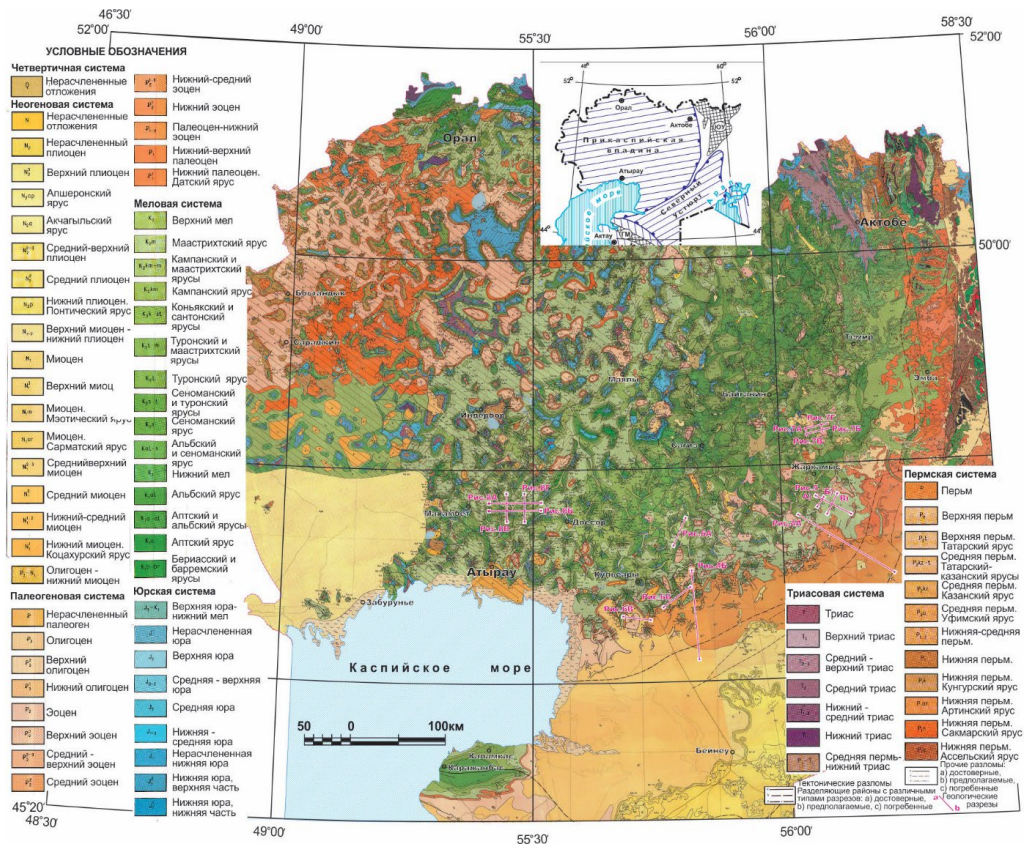


Рисунок 1. Геологическая схема Прикаспийской впадины и прилегающих территорий (разработана с использованием данных [10])
Figure 1. Geologic pattern of Pricaspian basin and surrounding areas (developed using data from [10])

Геологические особенности соленосной формации

В Прикаспийской впадине процессы солянокупольной тектоники полностью нарушили первичные стратиграфические взаимоотношения соленосной формации кунгура с вмещающими отложениями (рис. 2 и 6), что затрудняет разработку схем её стратиграфии и, соответственно, создаёт существенные трудности в понимании деталей её строения.

Возрастной диапазон формирования соленосных отложений мог быть растянут от позднеарктического времени конца ранней перми до позднеказанского (роудского) времени начала поздней перми. Наличие в разрезе всего Прикаспия казанской соли, нарастающей кунгурскую, приведено в работе Ю.А. Писаренко с соавторами [12], однако этот факт требует серьёзной работы

по ревизии биостратиграфических данных, т.к. современная хроностратиграфическая шкала пермской системы претерпела существенные изменения, а последние данные Л.З. Ахметшиной с соавторами по югу и востоку Прикаспия не подтвердили присутствия в разрезе низов верхней перми биостратиграфически обоснованных мощных отложений роудской (казанской) соли [3]. Здесь казанские отложения представлены только прослоями солей в красноцветах в разрезах структур Северный Киндысай и Блактыколь.

Сейсмостратиграфическое расчленение отложений пермской системы и вышележащих толщ Прикаспийской впадины на основе современной Международной хроностратиграфической шкалы представлено на рис. 3.

Главной составной частью соленосной формации является каменная соль, содер-

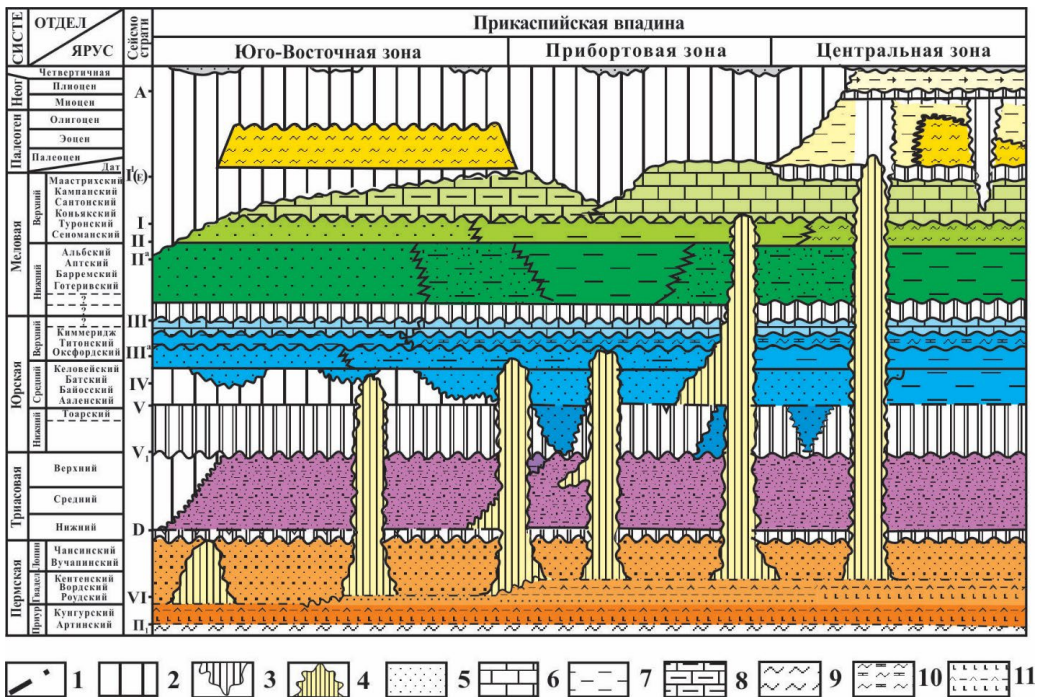


Рисунок 3. Сейсмостратиграфическая корреляционная схема Прикаспийской впадины (по [13] с дополнениями и изменениями)

Figure 3. Seismic stratigraphy correlation chart of Pricaspian basin (according to [13] as amended and supplemented)

1 – границы подразделений; 2 – осадочный перерыв и эрозия; 3 – осадочная эрозия, связанная с руслами древних рек; 4 – отсутствие осадочной летописи, связанной с соляной тектоникой; 5 – терригенные отложения; 6 – мелководно-морские карбонаты; 7 – мелководно-морские терригенные отложения; 8 – мергели; 9 – ариллиты; 10 – сланцы; 11 – соль и сульфаты (по [7] с дополнениями и изменениями).

1 – subdivision boundaries; 2 – sedimentary hiatus and erosion; 3 – sedimentary erosion associated with ancient river beds; 4 – absence of sedimentary record associated with salt tectonics; 5 – terrigenous sediments; 6 – shallow-marine carbonates; 7 – shallow-marine terrigenous sediments; 8 – marls; 9 – mudstones; 10 – shales; 11 – salt and sulfates (according to [7] as amended and supplemented).

Символы маркёров сейсмических отражающих горизонтов показаны на рис. 7.

Seismic reflection horizon marker symbols are shown in Fig. 7.

жащая прослои ангидритов, доломитов, калийных солей терригенных и карбонатных пород. Для строения соленосных отложений как кунгурского, так и казанского циклов седиментации характерна чётко выраженная фациальная зональность, состоящая в том, что относительная суммарная мощность несолевых прослоев многократно возрастает от внутренней к бортовым частям впадины. При этом в их составе в юго-восточной бортовой зоне преобладают терригенные, а на северо-западном борту – сульфатно-терригенные и карбонатные породы.

По формам и размерам в плане и разрезе и по взаимоотношению куполов с окружающими межкупольными зонами солянокупольные структуры Прикаспийской впадины традиционно районированы [2, 7] на зоны:

- 1) соляных подушек и рудиментарных соляных куполов (Восточная бортовая зона) (рис. 5);
- 2) прорванных неориентированных соляных куполов (Эмбенско-Уильская зона) (рис. 6);
- 3) соляных массивов и соляных гряд (Азгирско-Хобдинская зона) (рис. 7–8);
- 4) крупных соляных массивов и соляных стен (Центральная зона);
- 5) интенсивной соляной тектоники (Север – Северо-Восточная зона);
- 6) соляных валов (Северная бортовая зона).

По особенностям дислоцированности различных литолого-стратиграфических комплексов пермско-кайнозойский разрез разделяется на три дислокационных этажа (рис. 2–3): дисгармонично-складчатый, голоморфно-складчатый и идиоморфно-складчатый.

Нижний, дисгармонично-складчатый, этаж охватывает соленосную толщу или её часть, которая слагает ядра соляных структур (рис. 6–8). Структура этого этажа определяется складками течения очень сложной конфигурации, практически не поддающейся расшифровке методами геофизики и бурением, однако он ограничивается региональными сейсмическими горизонтами П1 и VI.

Средний, голоморфно-складчатый, этаж сложен системой складок, морфология которых определяется конфигурацией кровли нижележащего дисгармонично-складчатого комплекса. Эти складки заполняют весь бассейн, образуя положительные структурные формы над соляными ядрами и отрицательные в промежутках между ними (рис. 6–8). Он представлен красноцветными средне- и верхне-пермско-триасовыми отложениями и ограничивается региональными сейсмическими отражающими горизонтами VI и V.

Верхний, идиоморфно-складчатый, этаж состоит из отдельных изолированных положительных и отрицательных структур, выделяющихся на фоне горизонтально залегающих слоев (рис. 8), и ограничивается снизу региональным сейсмическим отражающим горизонтом III, сверху – дневной поверхностью.

Вероятные причины и механизмы формирования соляных куполов

В развитии знаний о процессах роста соляных структур огромную роль сыграла гравигенная теория. Она исходит из того, что всякая система слоев, в которой существует слой с меньшей плотностью, чем плотность вышележащего слоя, гравитационно нестабильна. Эта система будет преобразовываться до тех пор, пока гравитационный потенциал энергии не достигнет минимума, т.е. пока плотности не будут нормально увеличиваться с глубиной [8]. В последние годы в результате прогресса сейсморазведки при картировании соляных куполов (сводов, крутых склонов, карнизов, подкарнизных отложений) в различных бассейнах мира, экспериментальных работ по моделированию вертикальных и горизонтальных движений соляных масс уточнены, а порой и изменены представления о процессах солянокупольной тектоники [5, 14, 15].

В теории нестабильных вязких жидкостей описаны результаты процессов преобразования системы математически и путём физического моделирования. На основе таких исследований, а также геологических наблюдений в классических районах солянокупольной тектоники (Центральный Иран, Мексиканский залив, Прикаспийская впадина и др.) установлена следующая стадийность развития соляных диапиров:

- 1 стадия: первоначально горизонтально залегающий слой соли под действием нагрузки приходит в движение с образованием пологих антиклинальных складок (соляные подушки) и разделяющих их синклиналей (рис. 4–5);

- 2 стадия: по мере увеличения нагрузки вышележащих толщ и (или) времени формируются более контрастные формы соляных куполов – нормальные (простые) соляные купола с крутыми крыльями и различной степени высоты подъёма соляных масс (рис. 6, а также рис. 7 с межкупольной бессолевой мульдой, сложенной надсолевой пермью в виде структуры «щит черепахи»);

- 3 стадия: в движениях соляных масс значительную роль начинают играть не только вертикальные, но и горизонтальные направления; с увеличением времени или нагрузки вышележащих слоев соль достигает критических уровней при движении

в вертикальном направлении – это может быть поверхность «вода – осадок», «воздух – осадок» или контакт соли с породами, имеющими с ней одинаковую плотность. Достигнув критических уровней, вертикальные движения соляных масс у поверхности соляного купола переходят в горизонтальные с образованием соляных карнизов, козырьков и форм соляных диапиров в виде лампочки или луковичи.

Такая стадийность развития соляных диапиров, вытекающая из гравитационной модели, подтверждается геологическими наблюдениями в большинстве бассейнов мира, однако степень развития соляных структур зависит от многих факторов и различна для всех солянокупольных бассейнов и даже для определенных его частей, что в полной мере относится и к Прикаспийской впадине.

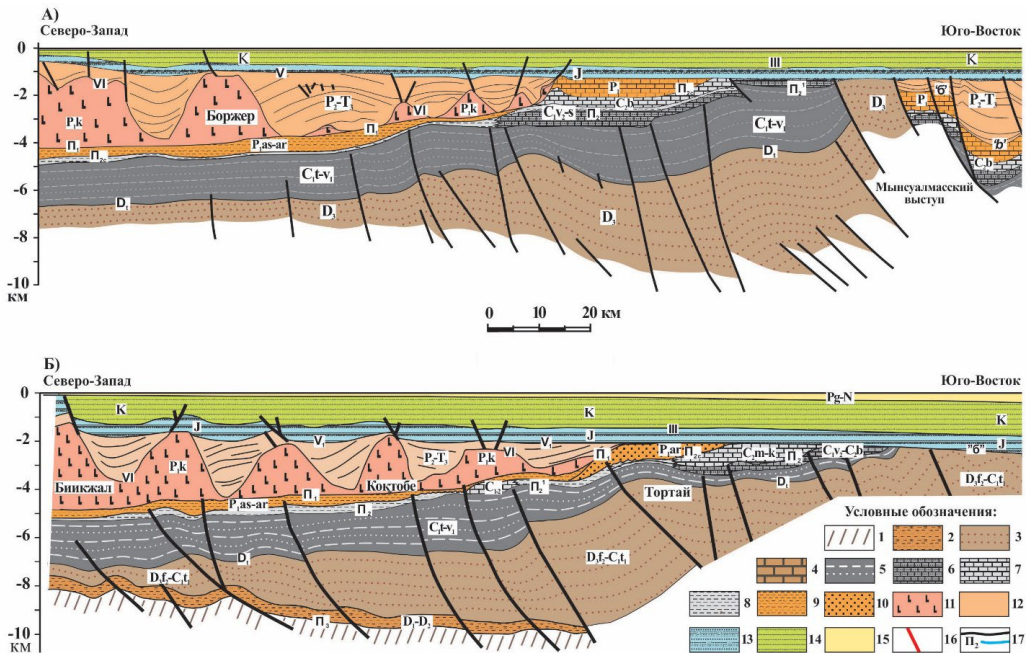


Рисунок 4. Геологические разрезы юго-восточной части Прикаспийской впадины (по [16] с дополнениями и изменениями)
Figure 4. Geological cross-sections of south-eastern part of Pricaspian basin (according to [16] as amended and supplemented)

A) по направлению Боржер-Мынсуалмас / towards Borjer-Mynsualmas;
 B) по направлению Биикжал-Тортай / towards Biikzhal-Tortay

1 – догерцинское основание; 2 – нижнедевонские отложения: серые алевролиты и глинистые сланцы, реже песчаники; 3 – верхнедевонские зеленые градационные терригенные породы; 4 – верхнедевонские отложения карбонатных платформ; 5 – нижнекаменноугольные зеленые градационные терригенные породы; 6 – нижнекаменноугольные отложения карбонатных платформ; 7 – верхнекаменноугольные отложения карбонатных платформ; 8 – каменноугольные глубоководные сланцы и алевролиты в переслаивании терригенными и карбонатными пластами; 9 – нижнепермские сланцы и алевролиты; 9 – грубозернистые нижнепермские отложения; 10 – нижнепермские карбонатные платформы; 11 – кунгурские соленосные отложения; 12 – средне- и верхнепермские красноцветы; 13 – юрские отложения; 14 – меловые отложения; 15 – кайнозойские отложения; 16 – разломы; 17 – сейсмические маркёры региональных отражающих горизонтов.

1 – pre-Hercynian foundations; 2 – Lower Devonian sediments: gray siltstones and clay shales, less often sandstones; 3 – Upper Devonian green gradational terrigenous rocks; 4 – Upper Devonian carbonate platform deposits; 5 – Lower Carboniferous green gradational terrigenous rocks; 6 – Lower Carboniferous carbonate platform deposits; 7 – Upper Carboniferous carbonate platform deposits; 8 – Carboniferous deep-water shales and siltstones overlain by terrigenous and carbonate strata; 9 – Lower Permian shales and siltstones; 9 – coarse-grained Lower Permian sediments; 10 – Lower Permian carbonate platforms; 11 – Kungur saline sediments; 12 – Middle and Upper Permian redstones; 13 – Jurassic sediments; 14 – Cretaceous sediments; 15 – Cenozoic sediments; 16 – faults; 17 – seismic markers of regional reflecting horizons.

Границы литостратиграфических комплексов показаны в общепринятых стандартных индексах. Расшифровка индексов показана на рис. 7.

The boundaries of lithostratigraphic complexes are shown in generally accepted standard indices. Decoding of the indices is shown in Fig. 7.

Первые две стадии здесь легко интерпретируются, например, первая стадия по присутствию «зоны рудиментарных куполов», которые представляют собой остатки соляных антиклиналей, образованных при возрастании осадочной нагрузки вышележащей терригенной толщи верхней перми и продолжающемся прогибании фундамента бассейна (рис. 5 и 7). На этой стадии соль подвижна и для вертикального, и для горизонтального перемещения. Также в складчатость вовлекалась и верхнепермская синседиментационная терригенная толща (рис. 8). Вторая стадия легко объясняется увеличением поступления терригенного осадка и ростом вертикальной нагрузки, что и привело к образованию крупных соляных диапиров за счёт притока соляных масс из пониженных участков, образованных на предыдущей стадии.

Наблюдения взаимоотношений соляных тел с вмещающими их более плотными породами показывают, что для пластического перераспределения масс соли необходима дифференцированная нагрузка на первоначальные материнские пласты вышележащих отложений, т.е. соляные диапиры не растут спонтанно за счёт разности плотностей и не всегда пронизывают толстые покровы перекрывающих (например, сейсмический профиль на рис. 6). Дифференцированная нагрузка может создаваться седиментационными процессами смещения депоцентра тяжести поступающих в бассейн осадков (например, боковое заполнение), тектонической деформацией покровов и основания (тектонические факторы, растяжение, сжатие) и эрозией [15]. По первопричинам создания дифференцированной нагрузки механизмы роста соляных структур могут быть

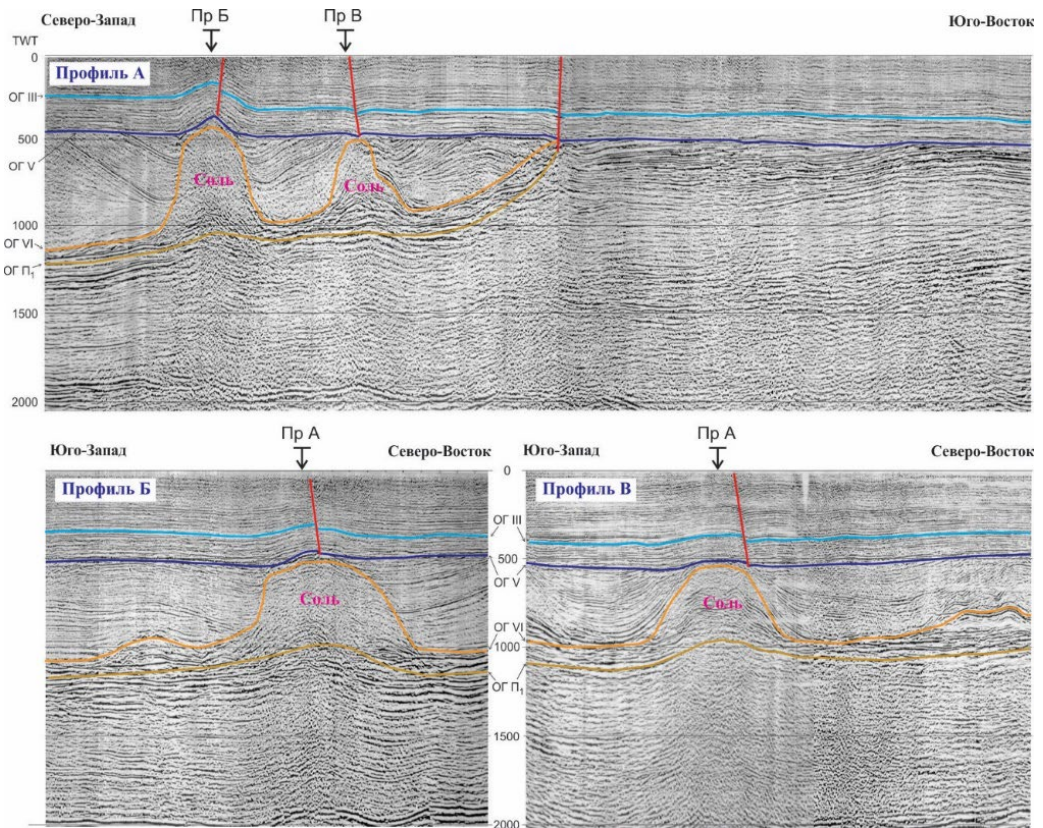


Рисунок 5. Временной сейсмический разрез по линии через купола Тобускен, ориентированный в направлении с юго-востока на северо-запад

Figure 5. Time cross section along a line through the Tobusken domes, oriented from southeast to northwest

Региональное расположение показано на рис. 1. Символы маркёров сейсмических отражающих горизонтов и стратиграфических отбывок показаны на рис. 6–7.

The regional location is shown in Fig. 1. Marker symbols for seismic reflection horizons and stratigraphic departures are shown in Figs. 6–7.

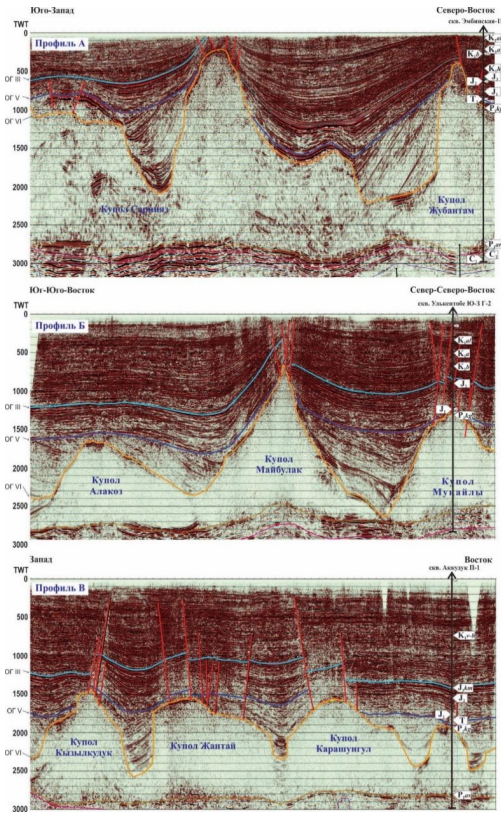


Рисунок 6. Временные сейсмические разрезы по линии купола Сарнияз-Жубантам; купола Алакоз-Майбулак-Мунайлы; купола Кызылкудук-Жантай-Карашунгул (по [19] с дополнениями и изменениями)
Figure 6. Time cross section by lines: domes of Sarniyaz-Zhubantam; domes of Alakoz-Maibulak-Munayly; domes of Kyzylkuduk-Zhantai-Karashungul (modified after [19])

Профиль А – через купола Сарнияз-Жубантам / Profile A – through Sarniyaz-Zhubantam domes; Профиль Б – через купола Алакоз-Майбулак-Мунайлы / Profile B – through the Alakoz-Maibulak-Munayly domes.; Профиль В – через купола Кызылкудук-Жантай-Карашунгул / Profile C – through Kyzylkuduk-Zhantai-Karashungul domes

Расположение показано на рис. 1. Символы маркёров сейсмических отражающих горизонтов и скважинных стратиграфических отбивок показаны на рис. 6–7.

The locations are shown in Fig. 1. Marker symbols for seismic reflection horizons and borehole stratigraphic indentations are shown in Figs. 6–7.

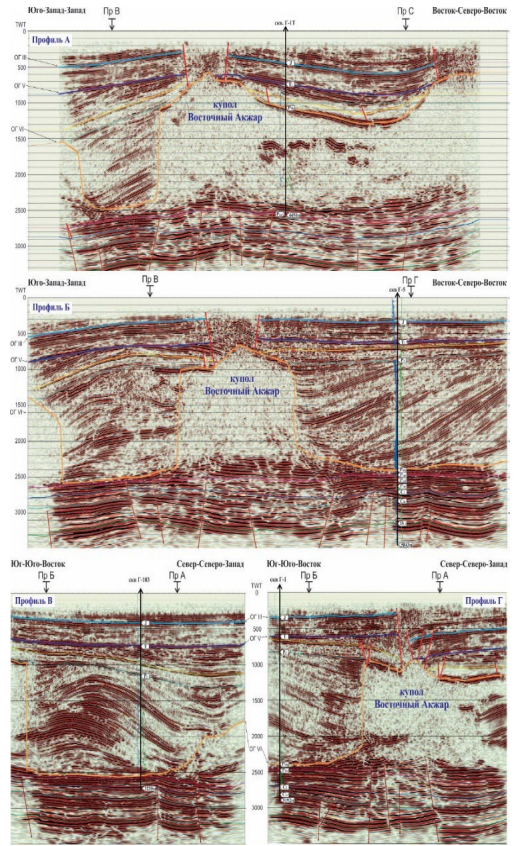


Рисунок 7. Временные сейсмические разрезы по линиям через купол Восточный Акжар (по [20] с дополнениями и изменениями)
Figure 7. Time cross section along a line through the Eastern Akzhar dome (according to [20] as amended and supplemented)

Профиль А – через скв. Г-1Т / Profile A – through well G-1Т; Профиль Б – через скв. Г-5 / Profile B – through well G-5; Профиль В – через скв. Г-103 / Profile C – through well G-103; Профиль Г – через скв. Г-1 / Profile D – through well G-1

Стратиграфические отбивки по скважинам: J3 – кровля верхнеюрских отложений; Т – кровля триасовых отложений; P3 – кровля верхнепермских отложений; P1k – подошва кунгурских соленосных отложений; P1ar – кровля артинских отложений, P1s – кровля сакмарских отложений; P1as – кровля ассельских отложений; C2 – кровля каменноугольных отложений; C1v – кровля визейских отложений; D1-2 – кровля ниже-среднедевонских отложений.
 Stratigraphic boreholes: J3 – roof of Upper Jurassic sediments; T – roof of Triassic sediments; P3 – roof of Upper Permian sediments; P1k – bottom of Kungur saline sediments; P1ar – roof of Artinsk sediments, P1s – roof of Sakmar sediments; P1as – roof of Asselian deposits; C2 – roof of Carboniferous deposits; C1v – roof of Visean deposits; D1-2 – roof of Lower-Middle Devonian deposits.

Символы маркёров сейсмических отражающих горизонтов показаны на рис. 7.
 Seismic reflection horizon marker symbols are shown in Fig. 7.

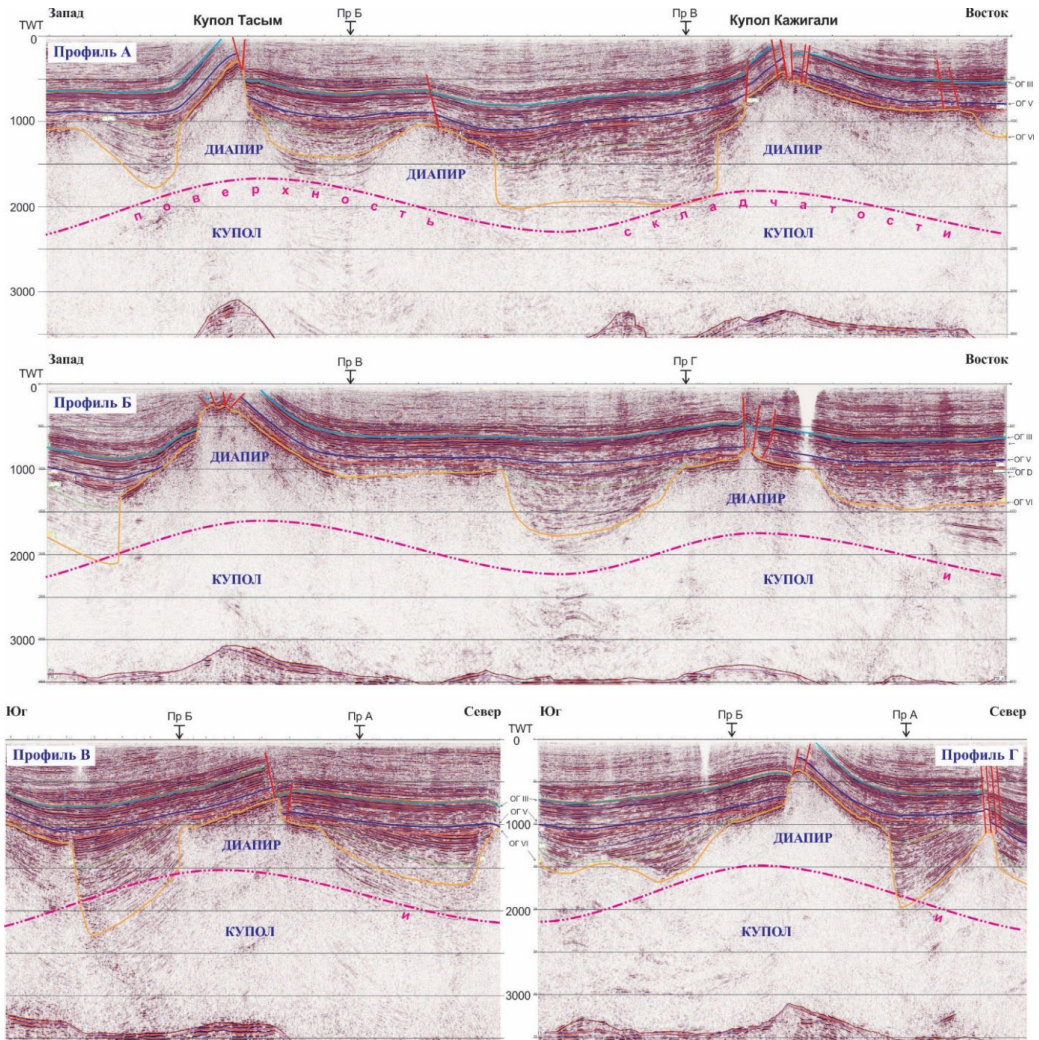


Рисунок 8. Временные сейсмические разрезы по линии через купола Тасым-Кажигали (по [21] с дополнениями и изменениями)

Figure 8. Time cross section along a line through the Tasym-Kazhygali domes (according to [21] as amended and supplemented)

Профиль А – северная часть / Profile A – northern part; Профиль Б – южная часть / Profile B – southern part; Профиль В – западная часть / Profile C – western part; Профиль Г – восточная часть / Profile D – eastern part

Символы маркёров сейсмических отражающих горизонтов: ОГ-III – кровля юрских отложений; ОГ-V – поверхность углового несогласия между пермо-триасовым и нижнеюрским комплексам; ОГ-VI – кровля соленосных отложений кунгура; ОГ-П1 – поверхности подсольевых докунгурских отложений.

Symbols of markers of seismic reflecting horizons: OG-III – roof of Jurassic sediments; OG-V – surface of angular disagreement between Permo-Triassic and Lower Jurassic complexes; OG-VI – roof of saline sediments of Kungur; OG-P1 – surface of subsalt Dokungur deposits.

Региональное расположение показано на рис. 1. The regional location is shown in Figure 1.

разделены на три типа: пассивный, активный и реактивный.

Пассивный механизм движения соли предполагает одновременно рост соляных куполов и осадконакопление терригенных (сульфатно-терригенных) толщ. Дифференциация нагрузки

на материнские пласты соли создается за счёт естественного различия гранулометрического и плотностного составов центральных и дистальных частей проградационных клиноформ (комплексов), вдоль которых поступает осадочный материал. В результате в под-

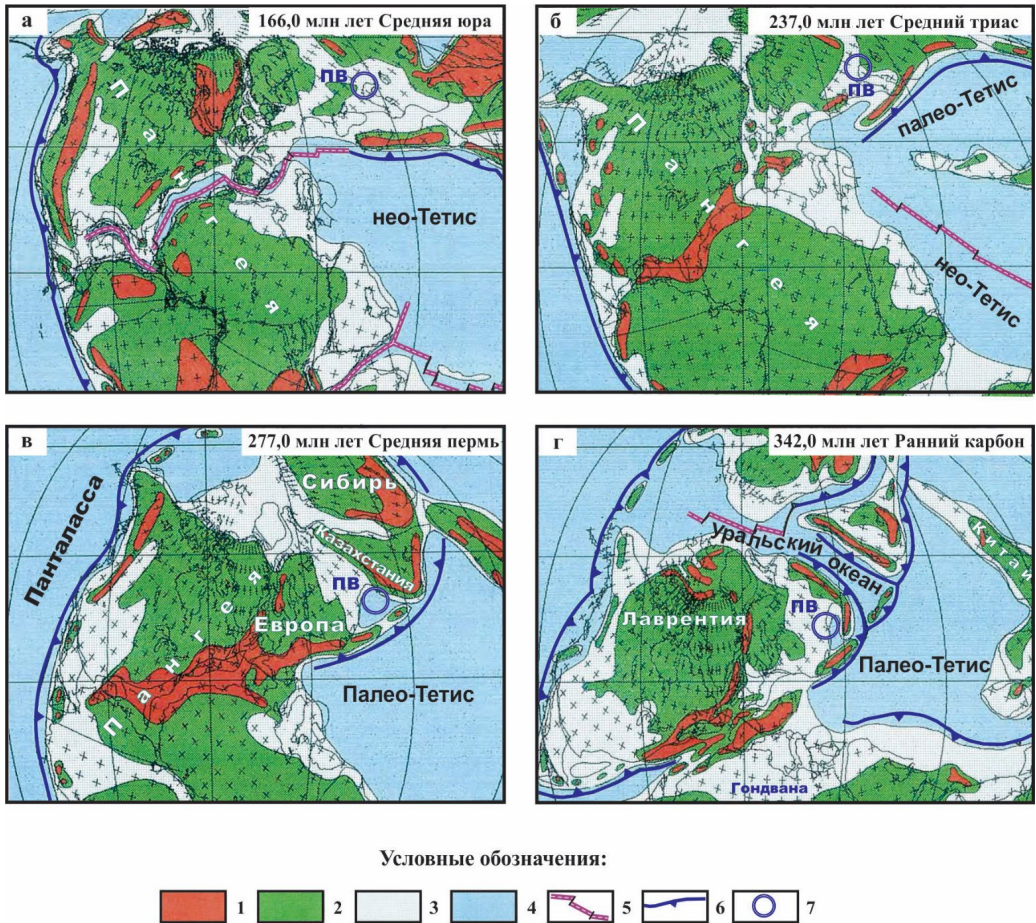


Рисунок 9. Палеотектонические реконструкции древних континентов, слагающих Евразию и прилегающих территорий в конце палеозоя (по [17] с дополнениями)

Figure 9. Paleotectonic reconstructions of the ancient continents that make up Eurasia and adjacent territories at the end of the Paleozoic (according to [17] as amended and supplemented)

а) для эпохи средней юры / for the Middle Jurassic; б) для эпохи среднего триаса / for the Middle Triassic; в) для эпохи средней перми / for the Middle Permian; г) для эпохи раннего карбона / for the Early Carboniferous
 1 – горы и возвышенности / mountains and uplands; 2 – массивы суши / land masses; 3 – шельф и окраина континентов / shore and continental margin; 4 – глубоководные бассейны / deep-water basins; 5 – срединно-океанический хребет / mid-ocean ridge; 6 – зоны субдукции / subduction zones; 7 – Прикаспийская впадина / Caspian depression.
 ПВ – Прикаспийская впадина / Pre-Caspian Basin.

стилающей толще соли закладывается соляная подушка. В синклинали перед фронтом растущей соляной структуры улавливается значительно большее количество материала, чем в своде и на противоположном крыле. Это увеличивает дифференциацию и способствует отжатию соли из мульды в направлении, противоположном источнику сноса. Образуются нормальные соляные купола. От растворения соль предохраняет слой осадков.

В Прикаспийской впадине процессы пассивного роста соляных куполов преобладали на ранних стадиях их развития

в средней-верхней перми и триаса. Это подтверждается следующими фактами: повсеместно отмечается утончение осадков перми и триаса в сводах куполов, свидетельствующее об их преимущественно конседиментационном росте, и, как правило, межкупольные зоны, разделенные куполами, имеют по данным сейсморазведки различный облик. При пассивном росте куполов мощности одновозрастных осадков в отдельных мульдах могут различаться в несколько раз. Механизм поступления терригенного осадочного материала в бассейн в пред- и посткунгурское время может быть объяснен геотектонической

обстановкой (рис. 9), связанной с замыканием Уральского палеоокеана и образованием океана Палеотетис [1, 17], который имел сложную историю, связанную с перемещением Иранских континентальных блоков и их коллизией с Туранской плитой, отделяющей Прикаспийскую впадину [18, 19].

Активный механизм движения соли вызывается тектоническими процессами сжатия, когда первоначальные (часто незначительные по мощности) материнские пласты соли вовлекаются в процессы складкообразования и надвигообразования. Соль нагнетается в зоны разломов и ядра антиклинальных складок, слагая наиболее ослабленные зоны. Соль часто не образует диапиров, а выполняет роль ядер деформируемых структур (рис. 6, а и б).

Реактивный механизм образования (развития) диапиров. В юрский период вследствие существенного уменьшения объёма привносимого осадочного материала морские и прибрежно-морские отложения перекрыли межкупольные зоны и своды куполов. Однако в меловое время поступление материала в бассейн и дифференциация нагрузок снова возросли (рис. 7). Прогибание центральной части впадины приводило к значительным по масштабам региональным растяжениям надсолевых осадков, в первую очередь, в зонах древних соляных куполов, продолжающийся замедленный рост которых также вызывал растяжение. Это способствовало заложению и широкому развитию грабенов в результате активизации разломов фундамента, а в сводах – созданию ослабленных зон (рис. 8). Вертикальные движения соли приподнимали породу в сводах куполов выше уровня денудации, а эрозия надсолевых отложений, в свою очередь, увеличивала дифференциацию нагрузок и обеспечивала дальнейший рост куполов. Так происходил «прорыв» юрских и меловых толщ.

Таким образом, региональное растяжение явилось главной причиной роста соляных куполов в послеевское время. Следовательно, частота размещения соляных куполов зависела от первоначальной генерации их в верхней перми и триасе, а не от общей мощности соли и надсолевых отложений, как это следует из гравитенной теории.

Таким образом, рассмотренные особенности солянокупольной тектоники в Прикаспийской впадине дают возможность по-новому подойти к объяснению многих известных факторов геологического строения соляных куполов и диапиров, а также прогнозировать по сейсморазведочным и гравиметрическим данным перспективные типы ловушек в надсолевых отложениях Прикаспийской впадины.

Заключение

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Прикаспийская впадина запада Казахстана в средней части разреза представлена соленосной формацией. Формой и размерами его котловина почти совпадала с современной структурой, и через узкий пролив он сообщался с Палеотетисом и, располагаясь в низких тропических палеоширотах, стал местом, где началось интенсивное накопление эвапоритов.

2. Толщина соли, накопившаяся в центре впадины, по-видимому, могла достигать 4,5 км, уменьшаясь на бортах до 1–2,5 км.

3. Здесь широко проявилась солянокупольная тектоника, что привело к образованию более 1500 соляных куполов с различными формами, размерами, высотой прорыва перекрывающих толщ и разнообразными комбинациями структур в плане.

4. Солянокупольная тектоника определяет геологический облик надсолевых отложений и является характерной чертой впадины. Соляные купола Прикаспийской впадины прошли три этапа развития с различными механизмами соляной тектоники: верхнепермско-триасовый, юрско-нижнемеловой и верхнемеловой-палеогеновый (рис. 10).

5. В верхнепермско-триасовое время были полностью сформированы соляные подушки и непрорванные соляные гряды. Соляные структуры в верхней перми и триасе образовались по схеме пассивного роста. Вертикальные движения соли, заложение подушек и гряд происходили вследствие дифференцированной нагрузки на соляные массы призм бокового заполнения бассейна за счёт одностороннего источника сноса со стороны Урала и Мугоджар, а также островодужно-аккреционного комплекса, формировавшегося на юге. По разные стороны соляных диапиров накапливались разновозрастные осадки различной мощности.

6. Солянокупольная тектоника, условия седиментации и формирование системы сбросов в надсолевом комплексе тесно связаны с региональными тектоническими процессами, происходившими в различные отрезки геологического времени в Прикаспийской впадине, на Урале, на юге Каспийского блока и Иранских киммерийско-альпийских складчатых структурах и континентальных тектонических блоках.

7. В юрско-нижнемеловое время продолжался интенсивный вертикальный рост соляных структур третьей зоны. Основным механизмом роста были реактивные движения соли в сводах за счёт растяжения, утончения

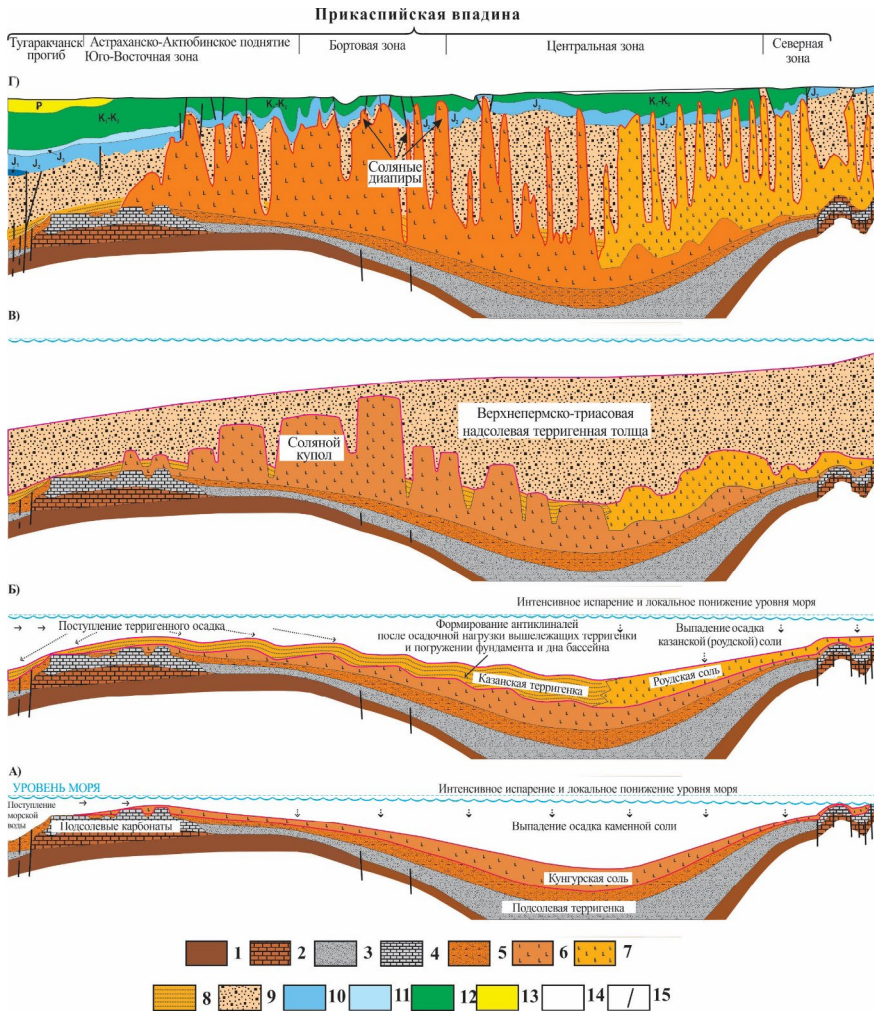


Рисунок 10. Схема формирования соленосной Прикаспийской впадины (по [2] с дополнениями)

Figure 10. Formation diagram of the salt-bearing Caspian depression (according to [2] as supplemented)

А) этап накопления соли в кунгурское время / stage of salt accumulation in the Kungur period; Б) начало куполообразования / dome formation; В) увеличение осадочной нагрузки / increase in sediment load; Г) проявление соляного диапиризма в мезозойское эпоху / manifestation of salt diapirism in the Mesozoic Era

1 – подсолевые отложения девона, преимущественно терригенно-карбонатного состава; 2 – карбонатные отложения верхнего девона; 3 – терригенно-карбонатные отложения карбона; 4 – карбонатные отложения карбона; 5 – терригенно-карбонатные отложения нижней перми; 6 – соль и сульфаты кунгурского яруса верхов нижней перми; 7 – соль и сульфаты роудского яруса низов верхней перми; 8 – терригенные отложения роудского яруса низов верхней перми; 9 – терригенные песчаники и алевролиты верхней перми и триаса; 10 – нерасчлененные юрские терригенные отложения; 11 – карбонатно-терригенные верхней юры; 12 – терригенные и сверху терригенно-карбонатные отложения мела; 13 – кайнозойские терригенные отложения, в основании датские карбонаты; 14 – современные отложения; 15 – тектонические разломы.

1 – subsalt sediments of the Devonian, mainly of terrigenous-carbonate composition; 2 – carbonate sediments of the Upper Devonian; 3 – terrigenous-carbonate sediments of the Carboniferous; 4 – carbonate sediments of the Carboniferous; 5 – terrigenous-carbonate sediments of the Lower Permian; 6 – salt and sulfates of the Kungurian Stage of the Lower Upper Permian; 7 – salt and sulfates of the Rhodian Stage of the Lower Upper Permian; 8 – terrigenous sediments of the Rhodian Stage of the Lower Upper Permian; 9 – terrigenous sandstones and siltstones of the Upper Permian and Triassic; 10 – poorly defined Jurassic terrigenous sediments; 11 – carbonate-terrigenous sediments of the Upper Jurassic; 12 – terrigenous and above terrigenous-carbonate deposits of the Cretaceous; 13 – Cenozoic terrigenous deposits, at the base Danish carbonates; 14 – modern sediments; 15 – tectonic faults.

и грабенообразования юрско-меловых отложений.

8. В верхнемеловой – палеогеновый период существенную роль играли минибассейны, в которых накапливались огромные мощности терригенных отложений,

формировались вторичные компенсационные мульды, создающие дифференцированные нагрузки на соль, способствующие вертикальному и горизонтальному перемещению соляных масс.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Исследования выполнены по гранту Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан, № AP14870515.

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

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: Ибрашев К.Н. – подготовка и редактирование рукописи, сбор материалов, Ахметжанов А.Ж. – подготовка материалов и графики, Жемчужников В.Г. – написание статьи, анализ и проверка результатов, Ахметжанова Г.А. – подготовка и редактирование рукописи, Увакова С.К. – редактирование рукописи, Галиев Н.Р. – подготовка графических материалов.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The research was funded by the Science Committee of the Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan, grant No. AR14870515.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. The greatest contribution is distributed as follows: Kenzhebek N. Ibrashev – preparation and editing of the manuscript, collection of materials; Aitbek Zh. Akhmetzhanov – preparation of manuscript and graphic materials; Vyacheslav G. Zhemchuzhnikov – writing the article, analyzing and verifying the results; Gaukhar A. Akhmetzhanova – preparation and editing of the manuscript; Saule K. Uvakova – editing of the manuscript; Nurzhan R. Galiyev – preparation of graphic materials.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Bykadorov V.A., Bush V.A., Fedorenko O.A., et al.* Ordovician-Permian palaeogeography of Central Asia: development of Palaeozoic petroleum-bearing basins // *Journal of Petroleum Geology*. 2003. Vol. 26, N 3. P. 325–350.
2. *Zhemchuzhnikov V., Akhmeizhanov A., Ibrashev K., Akhmetzhanova G.* The geotectonic peculiarities of the North Caspian Permian salt-bearing basins (Kazakhstan) // *Geosciences*. 2024. Vol. 14, N 1. doi.org/10.3390/geosciences14010023.
3. *Dzens-Litovskiy A.I., Vasilyev G.V.* Geological condition of formation of bottom sediments in Karabogaz in connection with fluctuation of Caspian Sea level // *American Geological Institute Translation News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and engineering sciences*. 1962. N 3. P. 79–86.
4. *Hite R.T.* Shelf carbonate sedimentation controlled by salinity in the Paradox Basin, Southeast Utah // *Third Symposium on Salt*. 1970. Vol. 1. P. 48–66.
5. *Абдулин А.А., Пилифосов В.М., Воцалевский Э.С.* Новые взгляды на механизм образования соляных куполов Прикаспийской впадины // *Геология Казахстана*. 1995. № 5–6. С. 23–31.
6. *Антипов М.П., Волож Ю.А.* Особенности строения и нефтегазоносность надсолевого разреза Прикаспийской впадины // *Нефть и газ*. 2012. №1(67). С. 47–71.
7. *Волож Ю.А., Воцалевский Э.С., Живодеров А.Б., и др.* Проблемы нефтегазоносности надсолевых отложений Прикаспийской впадины // *Известия НАН КазССР. Серия геологическая*. 1989. № 4. С. 3–15.
8. *Матусевич А.В.* Гравиразведка Прикаспийской впадины. Ливны : Издатель Мухаметов Г.В., 2013. 176 с.
9. *Ескожа Б.А.* Особенности строения и перспективы нефтегазоносности триасового комплекса юга Прикаспийской впадины // *Известия НАН КазССР. Серия геологическая*. 2008. №4. С. 38–46.

10. Геологическая карта Казахстана. Масштаб 1:1000000 / под ред. Г.Р. Бекжанова, 1996.
11. Писаренко Ю.А., Писаренко В.Ю., Дунаева М.Н. Стратиграфические, литолого-фациальные и структурные соотношения разновозрастных соленосных пород и их значение в проявлении процессов соляного тектогенеза в пределах Прикаспийской впадины // Недра Поволжья и Прикаспия. 2017. Вып. 91. С. 21–35.
12. Ахметшина Л.З., Кухтинов Д.А., Кухтинова Л.В., и др. Атлас палеонтологических остатков пермских отложений северного и восточного прибортовых сегментов Прикаспийской впадины (Казахстанская часть). Актобе : ТОО АктюбНИГРИ, 2013. 242 с.
13. Даукеев С.Ж., Воцалевский Э.С., Шлыгин Д.А., и др. Глубинное строение и минеральные ресурсы Казахстана. Нефть и газ. Том 3. Алматы : Национальная академия наук Республики Казахстан, 2002. 248 с.
14. Ge H., Jackson M.P.A., Vendeville B.C. Kinematics and dynamics of salt tectonics driven by progradation // AAPG Bulletin. 1997. Vol. 81, N 3. P. 398–423.
15. Jackson M.P.A., Vendeville B.C., Shultz-Ela D.D. Structural dynamics of Salt Systems // Annu. Rev. Earth Planet. Sci. 1994. Vol. 22. P. 93–117.
16. Воцалевский Э.С., Пилифосов В.М., Жемчужников В.Г. Карбонатные платформы и развитие позднепалеозойских осадочных бассейнов Западного Казахстана в связи с их нефтегазоносностью // Геология Казахстана. Сборник трудов, посвященный XXXII сессии МГК. 2004. С. 314–329.
17. Scotese C.R., Golonka J. (Dept. Of Geology, University of Texas at Arlington). Paleomap Paleogeographic Atlas. Paleomap Progress Report No. 20. 1992.
18. Natal'in B.A., Celâl Şengör A.M. Late Palaeozoic to Triassic evolution of the Turan and Scythian platforms; The pre-history of the Paleo-Tethyan closure // Tectonophysics. 2005. Vol. 404. P. 175–202. doi:10.1016/j.tecto.2005.04.011.
19. Салимова А.Ж., Досалиев А.Ф., Искужиев А.Д. (РЦГИ «Казгеоинформ»). Результаты геологоразведочных работ, проведенных на территории Адайского лицензионного участка в период разведки (2008–2011 гг.). Отчет №53506. Атырау, 2012.
20. Жемчужников В.Г., Уваков К.А., Шарубин Н.В., Ергалиев Н.Ф. (РЦГИ «Казгеоинформ»). Отчет о результатах полевых сейсморазведочных работ МОГТ 3D, работ по обработке и интерпретации этих сейсмических данных на контрактной территории ТОО «Аман Мунай», №55804. Алматы, 2016.
21. Жемчужников В.Г., Ибраева М.А., Куванова А.А. (РЦГИ «Казгеоинформ»). Отчет о результатах сейсмических наземных работ 2D и 3D по площади «Атырау», № 52194. Алматы, 2009.

REFERENCES

1. Bykadorov VA, Bush VA, Fedorenko OA, et al. Ordovician-Permian palaeogeography of Central Asia: development of Palaeozoic petroleum-bearing basins. *Journal of Petroleum Geology*. 2003;26(3): 325–350.
2. Zhemchuzhnikov V, Akhmezhyanov A, Ibrashev K, Akhmetzhanova G. The geotectonic peculiarities of the North Caspian Permian salt-bearing basins (Kazakhstan). *Geosciences*. 2024;14(1). doi.org/10.3390/geosciences14010023.
3. Dzents-Litovskiy AI, Vasilyev GV. Geological condition of formation of bottom sediments in Kara-Bogaz in connection with fluctuation of Caspian Sea level. *American Geological Institute translation News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and engineering sciences*. 1962;3:79–86.
4. Hite RT. Shelf carbonate sedimentation controlled by salinity in the Paradox Basin, Southeast Utah. *Third Symposium on Salt*. 1970;1:48–66.
5. Abdullin AA, Piliphosov VM, Votsalevskiy ES. Novye vzglyady na mekhanizm obrazovaniya solyanykh kupolov Prikaspiyskoy vpadiny. *Geologiya Kazakhstana*. 1995;5–6:23–31. (In Russ).
6. Antipov MP, Volozh YA. Osobennosti stroeniya i neftegazonosnost' nadsolevogo razreza Prikaspiyskoy vpadiny. *Neft' i gaz*. 2012;1(67):47–71. (In Russ).
7. Volozh YA, Votsalevskiy ES, Zhivoderov AB, et al. Problemy neftegazonosnosti nadsolvevkh otlozheniy Prikaspiyskoy vpadiny. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and engineering sciences*. 1989;4:3–15. (In Russ).
8. Matusevich AV. *Gravirazvedka Prikaspiyskoy vpadiny*. Livny: Izdatel' Mukhametov GV; 2013. 176 p. (In Russ).
9. Eskozha BA. Osobennosti stroeniya i perspektivy neftegazonosnosti triasovogo kompleksa yuga Prikaspiyskoy vpadiny. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and engineering sciences*. 2008;4:38–46. (In Russ).
10. Bekzhanov GR, editor. *Geological map of Kazakhstan. Scale 1:1000000*. 1996.
11. Pisarenko YA, Pisarenko VY, Dunayeva MN. Stratigraficheskie, litologo-fatsial'nye i strukturnye sootnosheniya raznovozrastnykh solenosnykh porod i ikh zhanenie v proyavlenii protsessov

solyanogo tektogeneza v predelakh Prikaspiyskoy vpadiny. *Vologá and Pricaspian region resources*. 2017;91:21–35. (In Russ).

12. Akhmetshina LZ, Kukhtinov DA, Kukhtinova LV, et al. *Atlas paleontologicheskikh ostatkov permskikh otlozheniy severnogo i vostochnogo pribortovykh segmentov Prikaspiyskoy vpadiny (Kazakhstanskaya chast')*. Aktobe: AktyubNIGRI LLP; 2013. 242 p. (In Russ).

13. Daukeev SZ, Votsalevskiy ES, Shlygin DA, et al. Glubinnoe stroeniye i mineral'nye resursy Kazakhstana. *Neft' i gaz*. Tom 3. Almaty: National Academy of Science Republic of Kazakhstan; 2002. 248 p. (In Russ).

14. Ge H, Jackson MPA, Vendeville BC. Kinematics and dynamics of salt tectonics driven by progradation. *AAPG Bulletin*. 1997;81(3):398–423.

15. Jackson MPA, Vendeville BC, Shultz-Ela DD. Structural dynamics of Salt Systems. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 1994;22:93–117.

16. Votsalevskiy ES, Piliposov VM, Zhemchuzhnikov VG. Karbonatnye platformy i razvitie pozdne-paleozoyskikh osadochnykh basseynov Zapadnogo Kazakhstana v svyazi s ikh neftegazonosnost'yu. *Geologiya Kazakhstana. Sbornik trudov, posvyashchennyi XXXII sessii MGK*. 2004. P. 314–329. (In Russ).

17. Scotese CR, Golonka J. (Dept. Of Geology, University of Texas at Artington). Paleomap Paleogeographic Atlas. Paleomap Progress Report No. 20.1992.

18. Natal'in BA, Celál Şengör AM. Late Palaeozoic to Triassic evolution of the Turan and Scythian platforms; The pre-history of the Paleo-Tethyan closure. *Tectonophysics*. 2005;404:175–202. doi:10.1016/j.tecto.2005.04.011.

19. Salimova AZ, Dosaliyev AF, Iskuzhiyev AD (JSC National Geological Service). The results of exploration work carried out on the territory of the Adai license area during the exploration period (2008–2011). Report. Atyrau; 2012. Technical report №53506.

20. Zhemchuzhnikov VG, Uvakov KA, Sharubin NV, Yergalyev NF (JSC National Geological Service). The results of field seismic surveys of MOGT 3D, processing and interpretation of these seismic data on the contract territory of Aman Munai LLP. Report. Almaty; 2016. Technical report No. 55804. (In Russ).

21. Zhemchuzhnikov VG, Ibrayeva MA, Kuvanova AA (JSC National Geological Service). The results of 2D and 3D seismic ground work on the Atyrau area. Report. Almaty; 2009. Technical report No. 52194. (In Russ).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Ибрашев Кенжебек Ниязович

канд. техн. наук,

ORCID [0000-0003-2979-1056](https://orcid.org/0000-0003-2979-1056)

Scopus Author ID 57210290727

e-mail: k.ibrashev@kazenergy.com.

*Ахметжанов Айтбек Жамсатович

канд. геол.-мин. наук,

ORCID [0009-0008-7508-4882](https://orcid.org/0009-0008-7508-4882)

Scopus Author ID 57196274318

e-mail: a.akhmetzhanov@kbtu.kz.

Жемчужников Вячеслав Георгиевич

канд. геол.-мин. наук,

ORCID [0000-0002-1729-0038](https://orcid.org/0000-0002-1729-0038)

Scopus Author ID 6506519046

e-mail: v.zhemchuzhnikov@kbtu.kz.

Ахметжанова Гауһар Айтбекқызы

ORCID [0000-0003-0437-8820](https://orcid.org/0000-0003-0437-8820)

Scopus Author ID 56669730400

e-mail: g.akhmetzhanova@kbtu.kz.

Увакова Сауле Каримовна

e-mail: s.uvakova@kbtu.kz.

Галиев Нуржан Рахимканович

e-mail: n.galiev@petrolab.kz.

AUTHORS' INFO

Kenzhebek N. Ibrashev

Cand. Sc. (Engineering),

ORCID [0000-0003-2979-1056](https://orcid.org/0000-0003-2979-1056)

Scopus Author ID 57210290727

e-mail: k.ibrashev@kazenergy.com.

*Aitbek Zh. Akhmetzhanov

Cand. Sc. (Geology and Mineralogy),

ORCID [0009-0008-7508-4882](https://orcid.org/0009-0008-7508-4882)

Scopus Author ID 57196274318

e-mail: a.akhmetzhanov@kbtu.kz.

Vyacheslav G. Zhemchuzhnikov

Cand. Sc. (Geology and Mineralogy),

ORCID [0000-0002-1729-0038](https://orcid.org/0000-0002-1729-0038)

Scopus Author ID 6506519046

e-mail: v.zhemchuzhnikov@kbtu.kz.

Gauhar A. Akhmetzhanova

ORCID [0000-0003-0437-8820](https://orcid.org/0000-0003-0437-8820)

Scopus Author ID 56669730400

e-mail: gauhar.akhm@gmail.com.

Saule K. Uvakova

e-mail: s.uvakova@kbtu.kz.

Nurzhan R. Galiev

e-mail: n.galiev@petrolab.kz.

*Автор, ответственный за переписку/Corresponding Author