

УДК 553.982

DOI 10.47148/0016-7894-2024-5-45-66

Соленосные складчато-надвиговые пояса Северной и Центральной Евразии: строение и нефтегазоносность

© 2024 г. | К.О. Соборнов

Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт (ФГБУ «ВНИГНИ»), Москва, Россия; Sobornov@vnigni.ru

Поступила 28.05.2024 г.

Доработана 30.05.2024 г.

Принята к печати 04.06.2024 г.

Ключевые слова: соленосные складчато-надвиговые пояса; соляные диапиры; расслоение осадочного чехла; карст; симбиоз соляных структур и рифов; дуплексные надвиги; нефтегазоносность.

Аннотация: Сравнительное изучение строения складчато-надвиговых зон показывает большое своеобразие тех из них, в строении которых участвуют соленосные толщи. Общим для них является большая ширина области распространения деформаций сжатия. Это обусловлено способностью пластичных солей быть поверхностью расслоения осадочного чехла и транслировать тектонический стресс на большое расстояние от источников деформаций. Стиль деформаций зависит от траектории разрывов. Над участками субпластового расслоения по солям выделяются обширные слабодислоцированные зоны. Для рамповых зон типично широкое развитие слепых надвигов и дуплексных структур, что приводит к возникновению дисгармоничной складчатости. Важным элементом соленосных складчато-надвиговых зон является развитие соляных структур, зарождение которых предшествовало коллизионной складчатости. В условиях сжатия они трансформировались в раздавленные диапиры и покровы с солью в подошве. Для соленосных складчато-надвиговых районов характерно наличие зон доломитизации и карстования карбонатных пород и эвапоритов. В областях развития долгоживущих соляных структур на континентальной окраине в перекрывающих отложениях отмечается их симбиоз с рифами. Совокупность специфических черт строения соленосных складчато-надвиговых зон с экранирующими свойствами соляных покровов создает предпосылки для формирования крупных скоплений нефти и газа.

Для цитирования: Соборнов К.О. Соленосные складчато-надвиговые пояса Северной и Центральной Евразии: строение и нефтегазоносность // Геология нефти и газа. – 2024. – № 5. – С. 45–66. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-5-45-66.

Salt-bearing fold-and-thrust belts of Northern and Central Eurasia: structure and petroleum potential

© 2024 | К.О. Sobornov

All-Russian Scientific-Research Geological Oil Institute (VNIGNI), Moscow, Russia; Sobornov@vnigni.ru

Received 28.05.2024

Revised 30.05.2024

Accepted for publication 04.06.2024

Key words: Salt-bearing fold-and-thrust belts; salt diapirs; stratification of sedimentary cover; karst; symbiosis of salt structures and reefs; duplex thrusts; petroleum potential.

Abstract: Comparative study of the structure of fold-and-thrust zones shows a great peculiarity of those of them, which involve salt-bearing layers. The typical feature of these zones is the development of compressional deformations over wide areas. This is due to the ability of ductile salts to serve as a detachment surface in the sedimentary cover and to far-field transfer of tectonic stress from the sources of deformation. Style of deformations is shaped by fault trajectories. Large areas of mildly deformed sedimentary fill are often developed above layer-parallel flat detachments in salt layers. The widespread development of blind thrusts and duplex structures resulting in disharmonious folding are typical in zones of ramp thrusting. An important feature of salt-bearing fold-and-thrust zones is the development of salt structures that preceded the onset of collisional folding. Under conditions of collisional compression they were transformed into squeezed diapirs and salt-floored thrust plates. Typical of the salt-bearing fold-and-thrust belts are zones of dolomitisation and karstification of carbonates and evaporites. Symbiosis of long-lasting salt structures in the continental margin setting and reefs in overlying sediments is observed. The combination of characteristic features of the structure of saline fold-thrust zones and sealing properties of salt layers create prerequisites for the formation of large oil and gas deposits.

For citation: Sobornov K.O. Salt-bearing fold-and-thrust belts of Northern and Central Eurasia: structure and petroleum potential. *Geologiya nefi i gaza*. 2024;(5):45–66. DOI: 10.47148/0016-7894-2024-5-45-66. In Russ.

Введение

Сравнительное изучение строения складчато-надвиговых поясов показывает, что им свойственно большое разнообразие структурных стилей

деформаций. Они проявляется в изменениях вергентности надвиговых структур, ширины зоны распространения деформаций, углов между подошвой и кровлей складчатых комплексов, вариаций ин-

тенсивности и морфологии складок. Разнообразие структурных стилей деформаций в пределах одного складчато-надвигового пояса можно видеть на схематизированных региональных разрезах Предуралья (рис. 1).

Представленные разрезы составлены с использованием геофизических данных, наиболее информативными из них являются региональные сейсмические разрезы. Также эти построения опираются на материалы скважинных данных и геологического картирования.

Складчато-надвиговые пояса испытывают структурную сегментацию из-за совокупности ряда факторов. К их числу относятся: геодинамические условия складчатости, строение фундамента, толщина осадочного выполнения и его реологические характеристики ([2–5] и др.). Большим разнообразием характеризуются зоны складчато-надвиговых деформаций, в строении которых принимают участие соленосные толщи (см. рис. 1 А). В этом районе распространены соли верхнего ордовика, которые представляют собой основную поверхность расслоения осадочного чехла ([6–8] и др.). Толщина соленосного слоя изменяется в широких пределах. Складчато-надвиговые деформации охватывают обширную площадь. Это обусловлено рассредоточением зон деформаций и наличием между ними обширной слабодислоцированной Косью-Роговской впадины. Последняя представляет собой аллохтонную структуру, перемещенную на платформенный борт бассейна. Ее слабая дислоцированность объясняется пологим наклоном поверхности расслоения чехла в подошве.

Специфика строения соленосных складчато-надвиговых зон связана с уникальными свойствами солей. Одна из них — мобильность, обусловленная низкой плотностью соли (около $2,2 \text{ г/см}^3$) по сравнению с иными типам осадочных отложений, другая — способность вести себя в пластовых условиях как квазижидкость ([3, 9] и др.). Эти характеристики соли объясняют ее подвижность и способность перемещаться в зоны минимальных давлений. В результате соль способна формировать диапировые структуры, мигрировать по напластованию с образованием линз и покровов внутри осадочного чехла, выдавливаясь на поверхность с образованием соляных покровов. Пластичность соли позволяет рассматривать ее в качестве поверхности расслоения осадочного чехла. Это проявляется как в условиях растяжения, так и сжатия. Данное свойство соленосных интервалов создает условия для распространения деформаций на большие расстояния, измеряемые многими десятками километров, от источников деформаций, которыми в складчато-надвиговых поясах в основном являются зоны коллизии литосферных плит.

Структурная неоднородность складчатого Предуралья не уникальна. Сходные латеральные вариации структурных стилей можно видеть и в других складчатых поясах. Они установлены, например,

на Кавказе в Кордильерах, Альпах, Андах, Карпатах, Пиренеях, Загросе и других складчатых поясах ([1, 4, 5, 10–14] и др.). Структурная неоднородность складчатого Предуралья непосредственно влияет на нефтегазоносность. Основная часть запасов УВ связана с зонами развития соленосных отложений. Кунгурские соли и ангидриты образуют покрывку уникального Вуктыльского газоконденсатного месторождения (рис. 2). Эти отложения экранируют залежи нефти и газа в Южном Предуралье.

Мировой опыт также показывает, что складчато-надвиговые пояса, в строении которых принимают участие соли, обладают высоким нефтегазовым потенциалом ([3, 4, 9, 15, 16] и др.). Примером может служить складчатый борт бассейна Персидского залива ([15, 17] и др.). Только в Иране в складчато-надвиговых зонах разведанные запасы нефти составляют 21,5 млрд т, газа — $6,75 \text{ трлн м}^3$ [15]. Особенностью этих месторождений является высокая дебитность скважин. Во многом такая продуктивность объясняется широким распространением соленосных толщ и их многофакторным воздействием на нефтегазовые системы. В основании осадочного чехла бассейна Персидского залива залегают соли формации Ормуз позднепротерозой-кембрийского возраста. В осадочном чехле локально присутствуют соли пермского, триасового, позднеюрского и миоценового возраста ([4, 15, 18] и др.).

Несмотря на большой объем разведанных запасов, соленосные складчато-надвиговые пояса по-прежнему обладают огромным потенциалом. Это связано с тем, что при изучении строения складчато-надвиговых поясов с участием солей было непросто получать информативные геолого-геофизические данные. Основные причины этого — сложные сейсмогеологические условия, связанные с резкими изменениями интервальных скоростей сейсмических волн в зоне развития соляных структур, высокий рельеф складчатых форм, распространение зон глубинного карстования. Кроме того, в районах высокой влажности, как, например, на севере Предуралья, соли не удавалось обнаружить геологической съемкой из-за их растворимости в приповерхностных условиях. Развитие технологий сейсморазведки и накопление геолого-геофизических данных, а также использование опыта изучения складчато-надвиговых поясов в других районах мира позволяет лучше понять их строение и нефтегазоносность.

Приведем краткий обзор строения нескольких складчато-надвиговых поясов с присутствием солей на территории Евразии. Размещение рассматриваемых районов в структурном контексте Евразии показано на рис. 3.

Рассмотрение ряда складчатых поясов, в строении которых участвуют соли, представляется актуальным в силу того, что эти структурные зоны слабо изучены. Соответственно, обобщение накопленных знаний по разным складчатым поясам позволяет выделить специфические особенности их строе-



Рис. 1. Схематические геологические разрезы, иллюстрирующие вариации структурных стилей деформаций складчато-надвиговых зон Урала и Пай-Хоя (по [1] с дополнениями)
Fig. 1. Schematic geological cross-sections demonstrating variety of structural patterns of fold-and-thrust zone deformation in Urals and Pay-Khoy (according to [1], complemented)

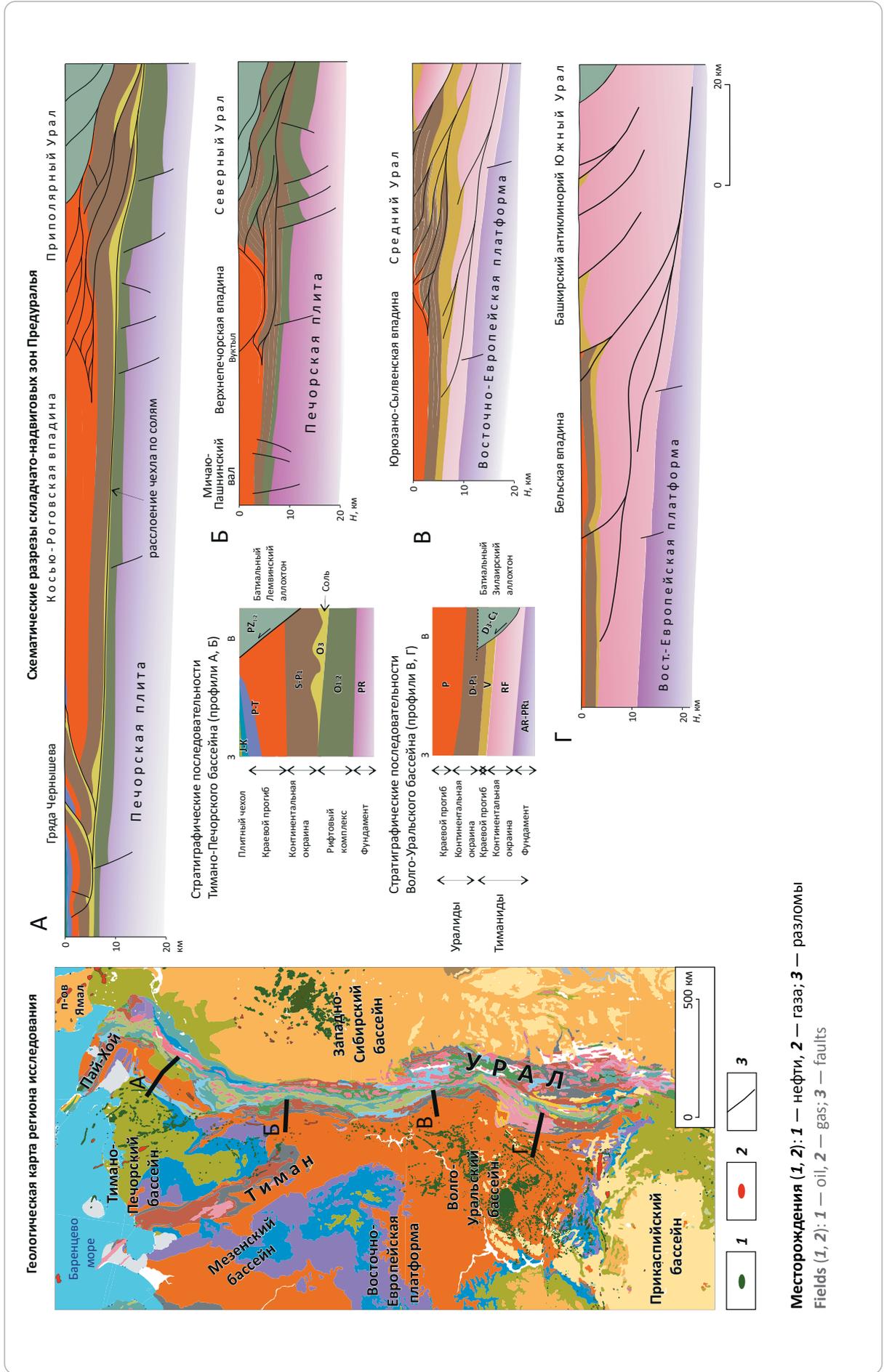
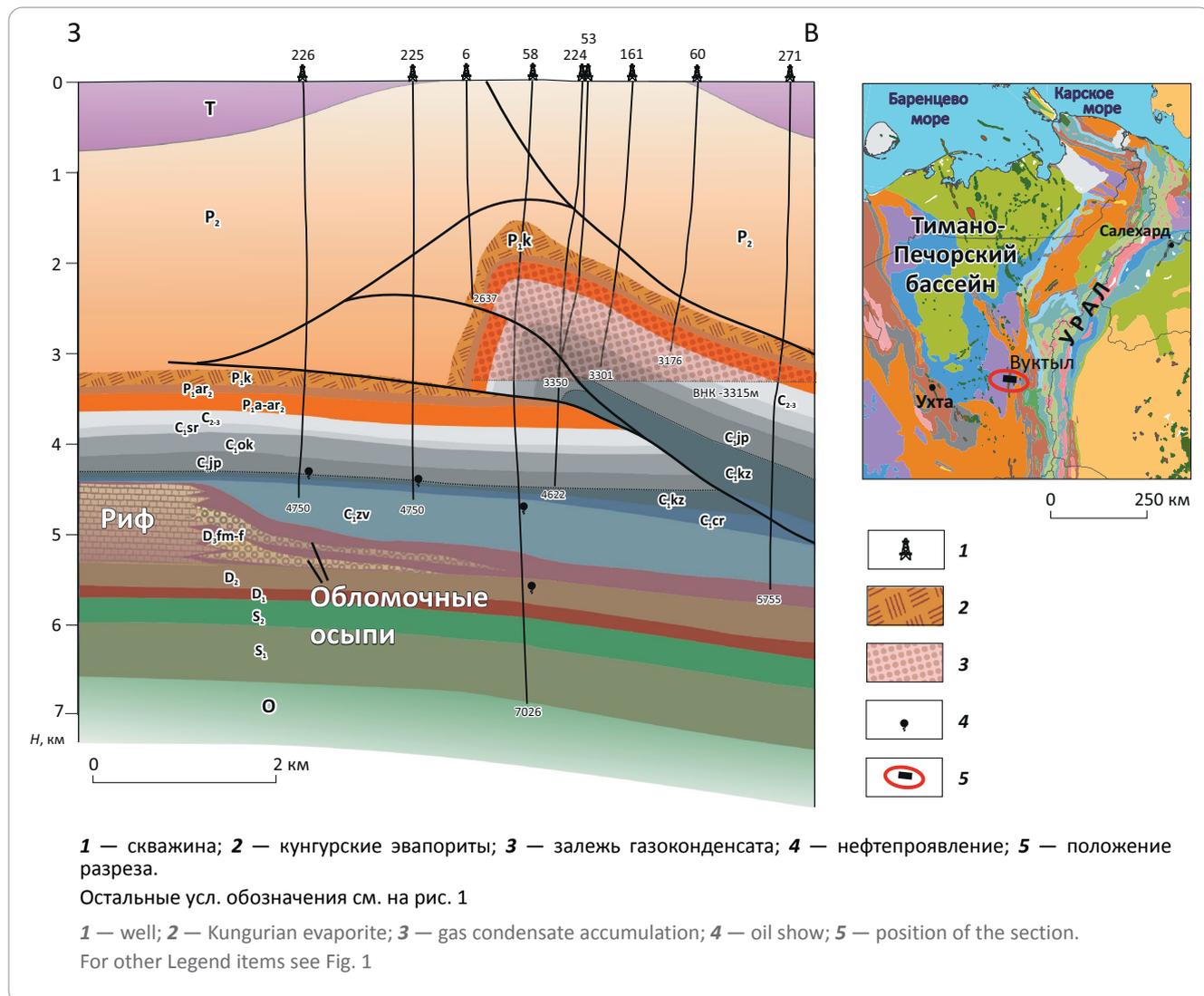




Рис. 2. Геологический разрез Вуктыльского нефтегазоконденсатного месторождения (по [11] с дополнениями)
Fig. 2. Geological model of the Vuktyl'sky oil, gas and condensate field (according to 11), complemented)



ния, развития и нефтегазоносности. Эти сведения способствуют снижению неопределенности интерпретации строения подобных зон. В условиях дефицита информации это позволит определить приоритетные направления поисковых работ.

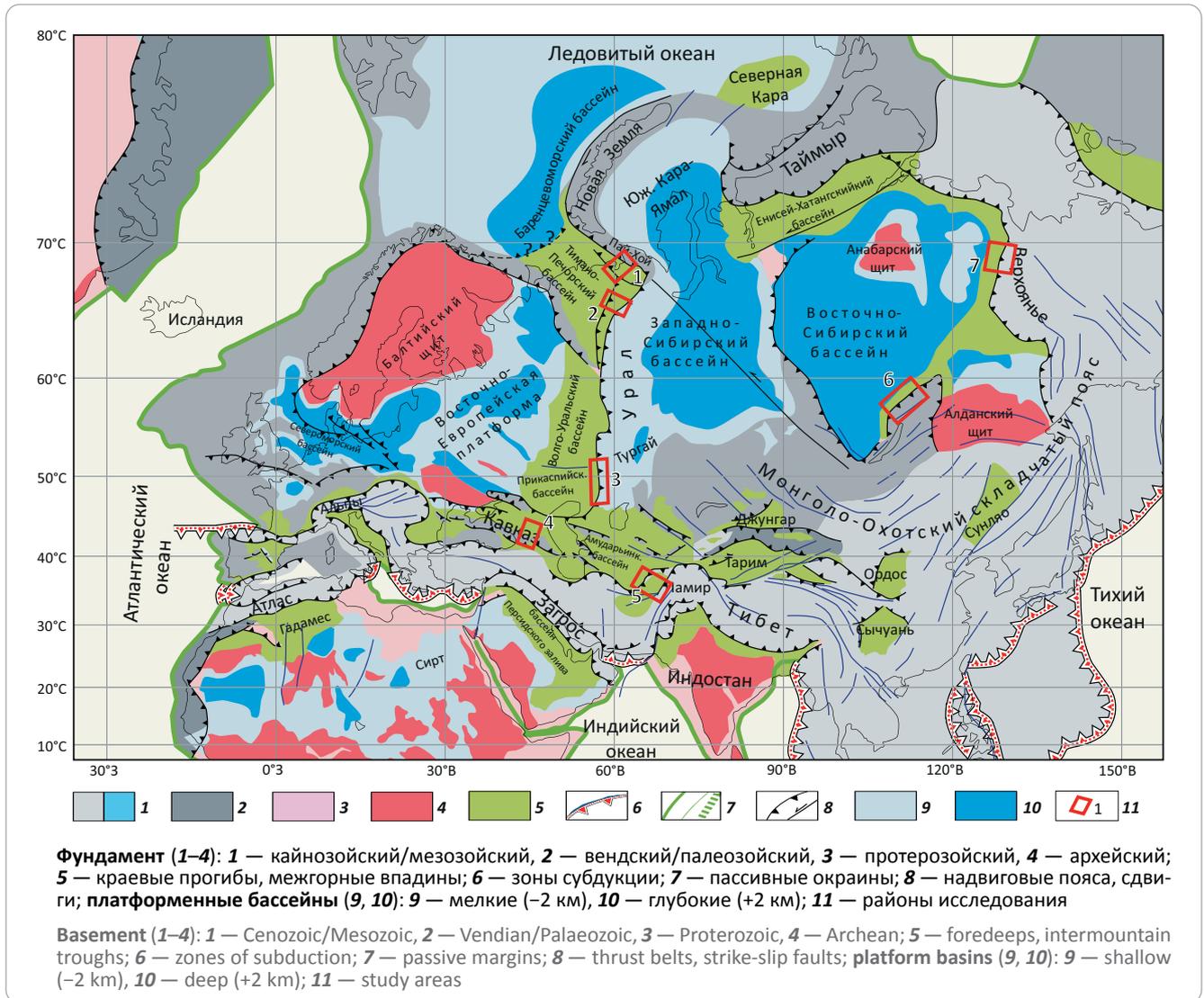
Строение соленосных складчато-надвиговых поясов на северо-востоке Тимано-Печорского бассейна

В пределах северо-восточного складчатого обрамления Тимано-Печорского бассейна установлено присутствие солей позднеордовикского возраста [5, 7, 20]. Эти соли широко распространены в Кортаихинской и Косью-Роговской впадинах и прилегающих складчатых зонах. Впервые существование этих солей было установлено в 1976 г. при бурении глубоких скважин на куполе Кочмес. Выявить присутствие солей в этом районе геологическим картированием не удалось в силу слабой обнаженности региона и растворения солей на поверхности.

Кроме верхнедевонских солей в разрезе этой части бассейна локально присутствуют сульфат-ангидритовые отложения серпуховского яруса. В ряде внутренних районов Предуралья они выступают в роли поверхности расслоения осадочного чехла с образованием многоярусных дуплексных структур ([1, 20] и др.).

Характерной особенностью складчато-надвиговых зон северо-восточного обрамления Тимано-Печорского бассейна является большая площадь распространения деформаций. Фронтальные зоны предуральской складчатости, представленные грядами Чернышева и Чернова, расположены на расстоянии до 150 км от орогенов Урала и Пай-Хоя. Этим грядам соответствуют зоны выклинивания солей, препятствующие дальнейшему расслоению осадочного чехла и определяющие локализацию складчатости надсолевых отложений. В целом строение северо-восточного обрамления Тимано-Печорского бассейна представляется в виде вну-

Рис. 3. Схема структурного районирования Евразии и прилегающих районов с выделением эпикратонных бассейнов, краевых прогибов и межгорных впадин (по [19] с дополнениями)
Fig. 3. Scheme of structural zoning of Eurasia and neighbouring regions showing epicratonic basins, foredeeps, and intermountain troughs (according to 19), complemented



тренней и внешней складчато-надвиговых зон, разделенных слабодислоцированными Коротайхинской и Косью-Роговской впадинами. Этим впадинам соответствует относительно выдержанное пологое залегание поверхности расслоения осадочного чехла по солям.

Структурный стиль северо-восточной окраины зоны деформаций иллюстрирует региональный разрез Косью-Роговской (см. рис. 1 А) и Коротайхинской впадин (рис. 4). На уровне солей верхнего ордовика находятся поверхности расслоения осадочного чехла, по которым надсолевые отложения сорваны со своего основания и перемещены в направлении платформенной части бассейна. Дуплексные надвиги затрагивают вышележащие силур-нижнепермские преимущественно карбонатные отложения. Протяженная система надвигов нарушает артинско-триасовые синколлизионные толщи. Фронты складчато-надвигового пояса

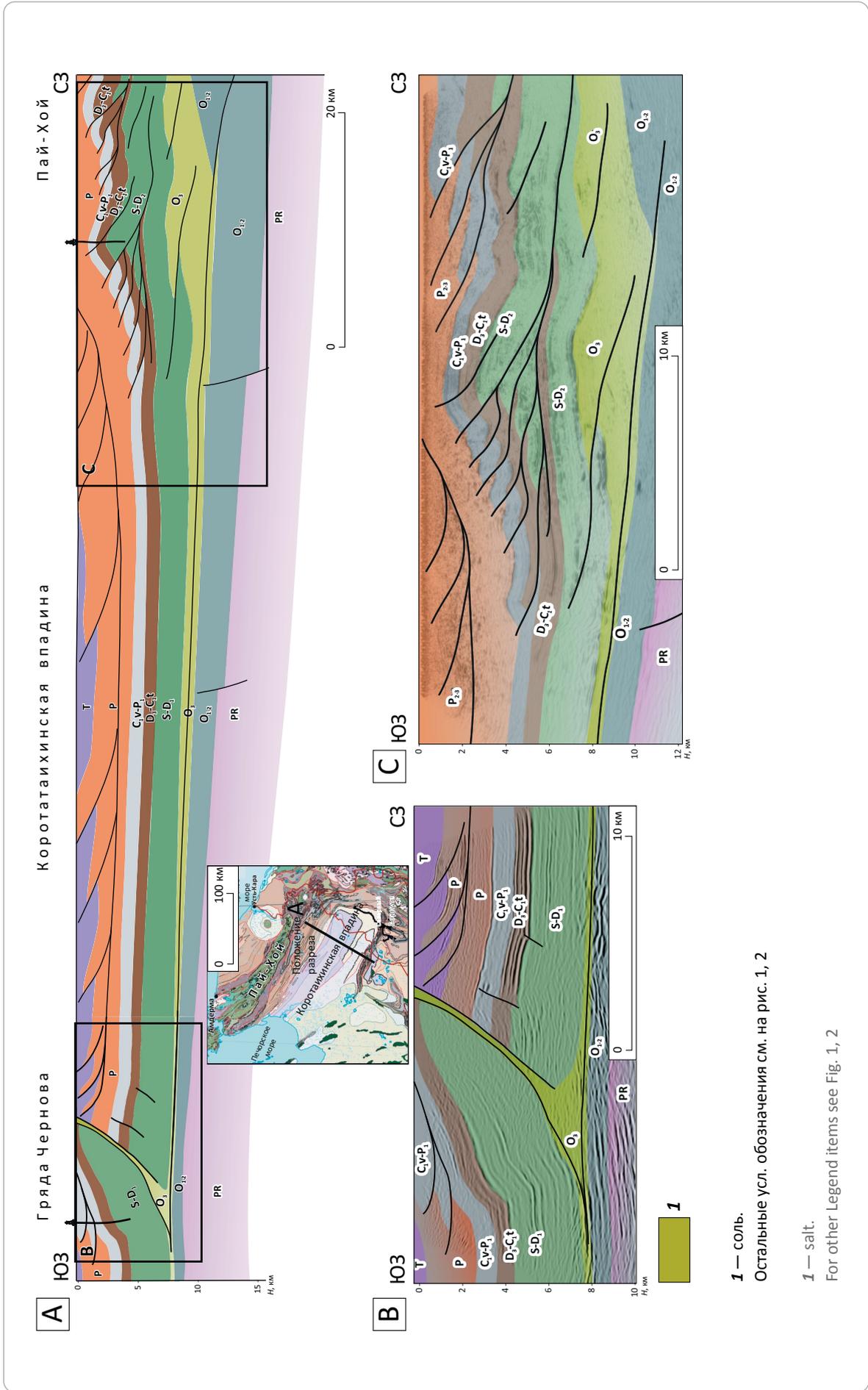
к юго-западу от Коротайхинской впадины отвечает гряда Чернова (см. рис. 3).

Локальные надвиговые нарушения на юго-западном крыле гряды Чернова, вероятно, имеют оползневую природу. Эти деформации, по-видимому, возникли при резком воздымании гряды за счет пододвигания под нее аллохтонной пластины, перемещенной на юго-запад по солям Коротайхинской впадины.

Особенностью строения гряд Чернышева и Чернова является распространение крупных надвигов (ретронадвигов), которые имеют восточную вергентность (см. рис. 1 А, 4). Бурением на гряде Чернышева доказано, что в их основании залегают соленосные отложения верхнего ордовика [6, 7]. Изучение строения этих районов показывает, что формирование этих структур, вероятно, явилось результатом сжатия соляных диапировых валов, которые зародились до наступления коллизионной склад-



Рис. 4. Региональный разрез Коротатайхинской впадины и прилегающих складчатых зон (А) и интерпретированные сейсмические разрезы складчато-надвиговых зон, прилегающих к Коротатайхинской впадине (В, С)
Fig. 4. Regional cross-section of the Korotaitkhinsky Depression and neighbouring folded zones (А) and interpreted seismic sections of fold-and-thrust zones adjacent to the Korotaitkhinsky Depression (В, С)



1 — соль.
 Остальные усл. обозначения см. на рис. 1, 2

1 — salt.
 For other Legend items see Fig. 1, 2

чатости [1, 21]. Локализация этих структур связана с глубинными разломами, которые в осадочном чехле выражены в виде флексур. Эти валы возникли за счет латеральной миграции соли из погруженной части бассейна континентальной окраины. Коллизионное сжатие вызвало расслоение осадочного чехла по солям верхнего ордовика. Аллохтонные пластины Коротайхинской и Косью-Роговской впадин переместились в направлении платформенной части бассейна, что привело к сжатию соляных валов и выдавливанию соли на поверхность.

В схематическом виде структурное развитие рассматриваемой части Коротайхинской впадины показано на рис. 5. В предлагаемой интерпретации гряды Чернова в данном районе представляет собой тектонический взвиг, расщепляющий осадочный чехол вдоль соленосного слоя. В рамках этой модели антиуральские разломы играют роль пассивных кровельных надвигов над внутричехольным клиновидным аллохтоном.

Образец керна, отобранный из подошвы антиуральской надвиговой пластины гряды Чернышева, представляет собой соляной меланж, содержащий обильные включения брекчированных карбонатных пород (рис. 6). Характер наблюдаемых деформаций пород согласуется с предположением о том, что соли служили поверхностью расслоения чехла и способствовали взаимному перемещению перекрывающих и подстилающих тектонических пластин.

Южное Предуралье

По-иному выглядит строение южного сегмента складчатого Предуралья, где Урал сочленяется с Прикаспийским бассейном. Здесь важную структурную роль играют мощные соли кунгурского возраста. Они образуют массивные диапировые поднятия, высота которых достигает 5 км и более ([22, 23] и др.). Общее представление о строении этой части складчато-надвигового пояса Урала дает интерпретированный сейсмический разрез (рис. 7).

Структурный план подсолевых отложений определяется высокоамплитудными надвиговыми дислокациями. Диапиризм кунгурских солей и дуплексирование позднекаменноугольно-нижнепермских моласс создали структурную дисгармонию над- и подсолевых уровней. Интерес представляет бортовая зона Прикаспийской впадины, где кунгурские эвапориты контактируют с дислоцированными подсолевыми комплексами Урала (см. рис. 7 В). Толщина солей здесь резко сокращается. Вероятно, значительная часть соли была выдавлена из этой зоны в ходе складчатости, оставив соляной шов. Соляной интервал погружается на запад, в то время как вышележащие надсолевые слои круто падают в противоположном направлении. По всей видимости, эти слои испытали оползание по круто залегающей поверхности солей, что вызвало их вращение. Воздымание кунгурских слоев происходило за счет пододвигания под них аллохтон-

ных комплексов со стороны Урала. Иными словами, здесь произошло выдавливание соли, от которой остался крутой соляной шов, и по нему произошло оползание надсолевых слоев. Этот механизм до определенной степени аналогичен тому, что имел место при раздавливании соляного поднятия гряды Чернова и оползании слоев на его юго-западном крыле (см. рис. 5).

Дислоцированные комплексы фронта деформаций Урала с несогласием перекрыты триасовыми толщами. Подобный характер залегания пермо-триасовых отложений свидетельствует о том, что основные соляные деформации произошли в конце перми в условиях кульминации коллизионной складчатости Урала.

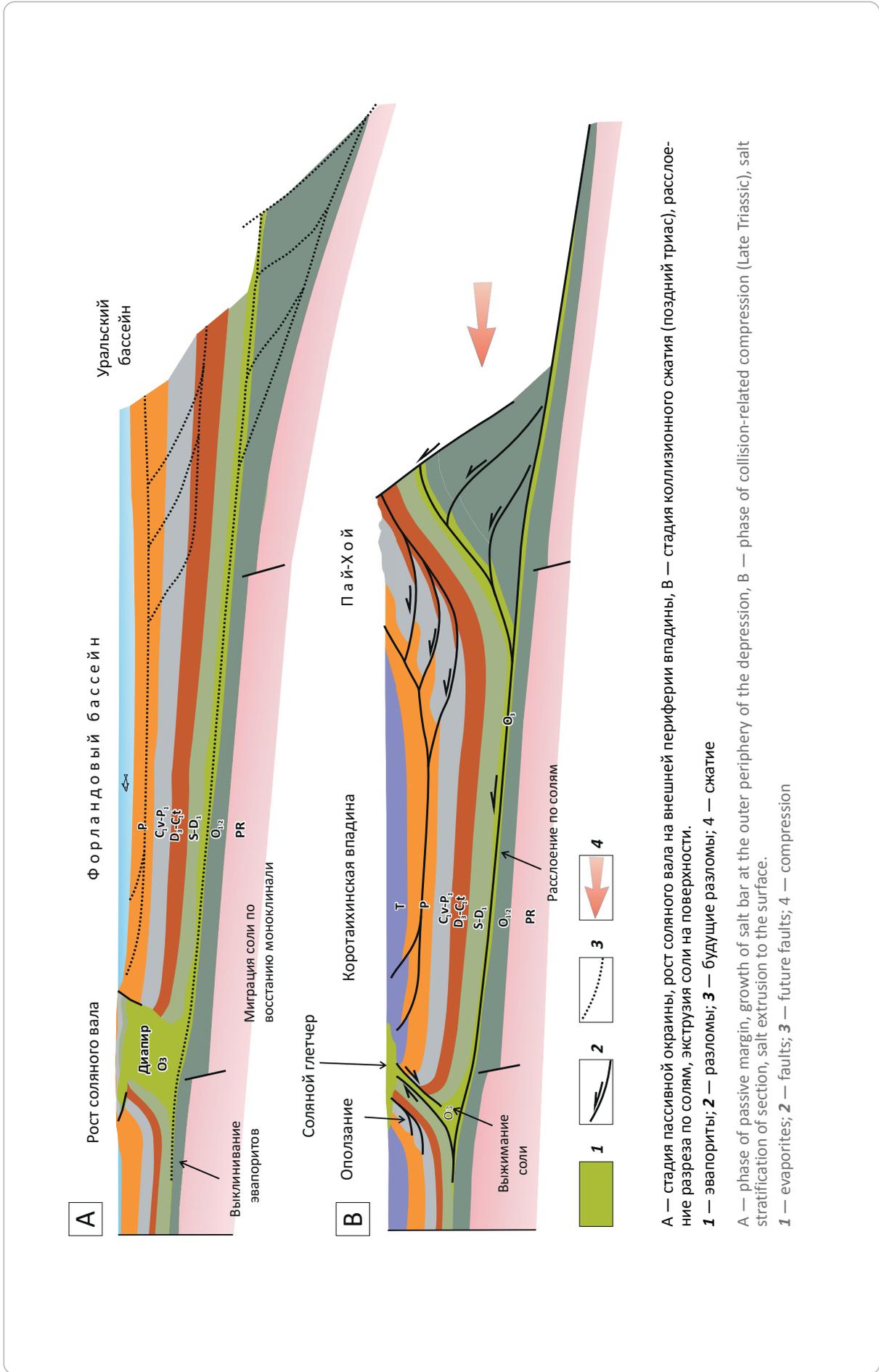
Терско-Сунженская зона

Терско-Сунженская зона является наиболее изученной частью Терско-Каспийского прогиба — одного из старейших нефтегазоносных районов мира [14, 22]. Несмотря на продолжительные исследования, новые региональные сейсмические данные позволяют существенно дополнить представления о строении этого региона. Важным элементом понимания строения этого региона является обнаружение важной роли титонских солей в структурном развитии Терско-Сунженской складчатой зоны. Гипотезы происхождения этой зоны в последние годы были подкреплены сейсмическими данными ([14] и др.). Строение этого района иллюстрируют геологический и сейсмический разрезы (рис. 8).

Подобно гряде Чернышева, эта складчатая зона расположена на значительном удалении от орогена Кавказа. Между ними расположены слабодислоцированные Осетинская и Чеченская впадины. Результаты интерпретации данных сейсморазведки указывают на признаки расслоения осадочного чехла по титонским солям. Скольжение по солям вызвало тектоническое сжатие, распространившееся на большое расстояние от складчатого сооружения Кавказа на север в направлении Терско-Сунженской складчатой зоны.

Сейсмические данные демонстрируют вариации мощностей соленосного интервала с утолщением под Терской и Сунженской антиклинальными зонами (см. рис. 8 В). Это наблюдение позволяет предположить сходство механизма формирования рассматриваемых складчатых зон с грядой Чернова (см. рис. 5). Оно состоит в том, что образование соляных поднятий здесь, возможно, началось до коллизионной складчатости. Сами соляные поднятия, образовавшиеся над предполагаемыми глубинными разломами, в наступивших условиях сжатия стали зонами зарождения складчато-надвиговых деформаций. Основное отличие между грядой Чернова и поднятиями Терско-Сунженской зоны состоит в том, что деформации в пределах последних находят на более раннем этапе развития. Здесь сжатие не привело в экстремии солей на поверхность, как

Рис. 5. Схема структурного развития Коротайхинской впадины и прилегающих складчато-надвиговых зон (по [11] с дополнениями)
Fig. 5. Scheme of structural evolution of the Korotaiikhinsky Depression and adjacent fold-and-thrust zones (according to [11], complemented)



А — стадия пассивной окраины, рост соляного вала на внешней периферии впадины, В — стадия коллизонного сжатия (поздний триас), расслоение разреза по солям, экструзия соли на поверхность.
1 — эвапориты; **2** — разломы; **3** — будущие разломы; **4** — сжатие

А — phase of passive margin, growth of salt bar at the outer periphery of the depression, В — phase of collision-related compression (Late Triassic), salt stratification of section, salt extrusion to the surface.
1 — evaporites; **2** — faults; **3** — future faults; **4** — compression

Рис. 6. Образец керна из подошвы надвиговой пластины гряды Чернышева, содержащий соляной меланж и обломки карбонатных пород (скв. Адак-1) (данные ПАО «Газпром»)

Fig. 6. Core sample from the thrust sheet of the Chernyshsev Ridge containing salt melange and fragments of carbonate rocks (Adak-1 well) (data of PJSC Gazprom)



это произошло на гряде Чернова в Тимано-Печорском бассейне.

Предположение о существовании соляных поднятий в этом районе до коллизионной складчатости согласуется с тем фактом, что именно в Терской и Сунженской зонах расположены самые крупные и высокодебитные месторождения нефти и газа Терско-Каспийского прогиба. Вероятно, эмбриональные надсолевые поднятия этой зоны на протяжении длительного времени аккумулировали скопления нефти и газа. Раннее поступление нефти и газа консервировало пористость коллекторов, что объясняет высокую дебитность залежей. Последующая складчатость сделала ловушки более рельефными, увеличив их объем.

Окраины Сибирской платформы

Яркие примеры складчато-надвиговых деформаций с участием солей выявлены в некоторых районах периферии Сибирской платформы ([12, 24–26] и др.). В южной части Сибирской платформы широко распространены соли кембрийского возраста ([12, 22] и др.). Кроме того, здесь локально присутствуют соли венда. Сейсмические данные, характеризующие строение Предпатомского прогиба, убедительно показывают, что кембрийские соли представляли собой поверхность расслоения осадочного чехла. По этим солям происходило перемещение аллохтонных пластин, сложенных надсолевыми отложениями, в направлении Сибирской платформы (рис. 9).

Представленный интерпретированный сейсмический разрез показывает, что срыв по солям является субпластовым. Он прослеживается на десятки километров. Аллохтонные отложения залегают в виде слабодислоцированной пластины. Выход сместителя этого разлома на поверхность, по-видимому, приурочен к флекуре над глубинным разломом и/или к соляному поднятию.

Выявление надвиговых перекрытий, приуроченных к солям, позволяет объяснить происхождение больших запасов нефти и газа в районе прилегающей Непско-Ботубинской антеклизы Сибирской платформы. Дело в том, что в районе этой антеклизы отсутствуют крупные источники генерации УВ. Исходя из этого, а также с учетом регионального структурного контекста, можно сделать вывод, что накопление нефти и газа в ее пределах происходило за счет латеральной миграции из подсолевых отложений Предпатомского прогиба ([25, 27] и др.). Наличие крупных надвиговых перекрытий в этом районе расширяет район возможного распространения залежей нефти и газа за счет поднадвиговых зон к востоку от района установленной нефтегазоносности.

Рассматривая окраинные районы Сибирской платформы, следует упомянуть Предверхоанский складчато-надвиговой пояс. В последние годы здесь были выполнены региональные геофизические исследования, давшие много новой информации ([12, 25] и др.). О существовании палеозойских соленосных толщ этого пояса неизвестно. Вместе с тем, региональные сейсмические данные дают основание предполагать их наличие. Дело в том, что некоторые сейсмические разрезы имеют черты строения, характерные для складчато-надвиговых зон, в строении которых участвуют соленосные толщи (см. рис. 4, 8). На рис. 10 показан сейсмический разрез, который пересекает северный сегмент зоны сочленения Верхоанского складчатого пояса и прилегающего Предверхоанского прогиба.

Одним из важных признаков участия солей в формировании этой части складчатого пояса является высокоамплитудное бескорневое поднятие, расположенное на значительном удалении от складчатого сооружения (см. рис. 10 А). Вероятно, оно может представлять собой соляной вал, затронутый надвиговыми деформациями. Образование этой структуры могло происходить за счет лате-

Рис. 7. Интерпретированный композитный временной сейсмический разрез зоны сочленения Прикаспийского бассейна и Южного Урала (по [23] с дополнениями) (А), фрагмент разреза А (В) и геологическая карта зоны сочленения Прикаспийского бассейна и Южного Урала (С) (according to [23], complemented) (A), fragment of A cross-section (B) and geological map of the zone of Caspian Basin and Southern Urals joint (C)

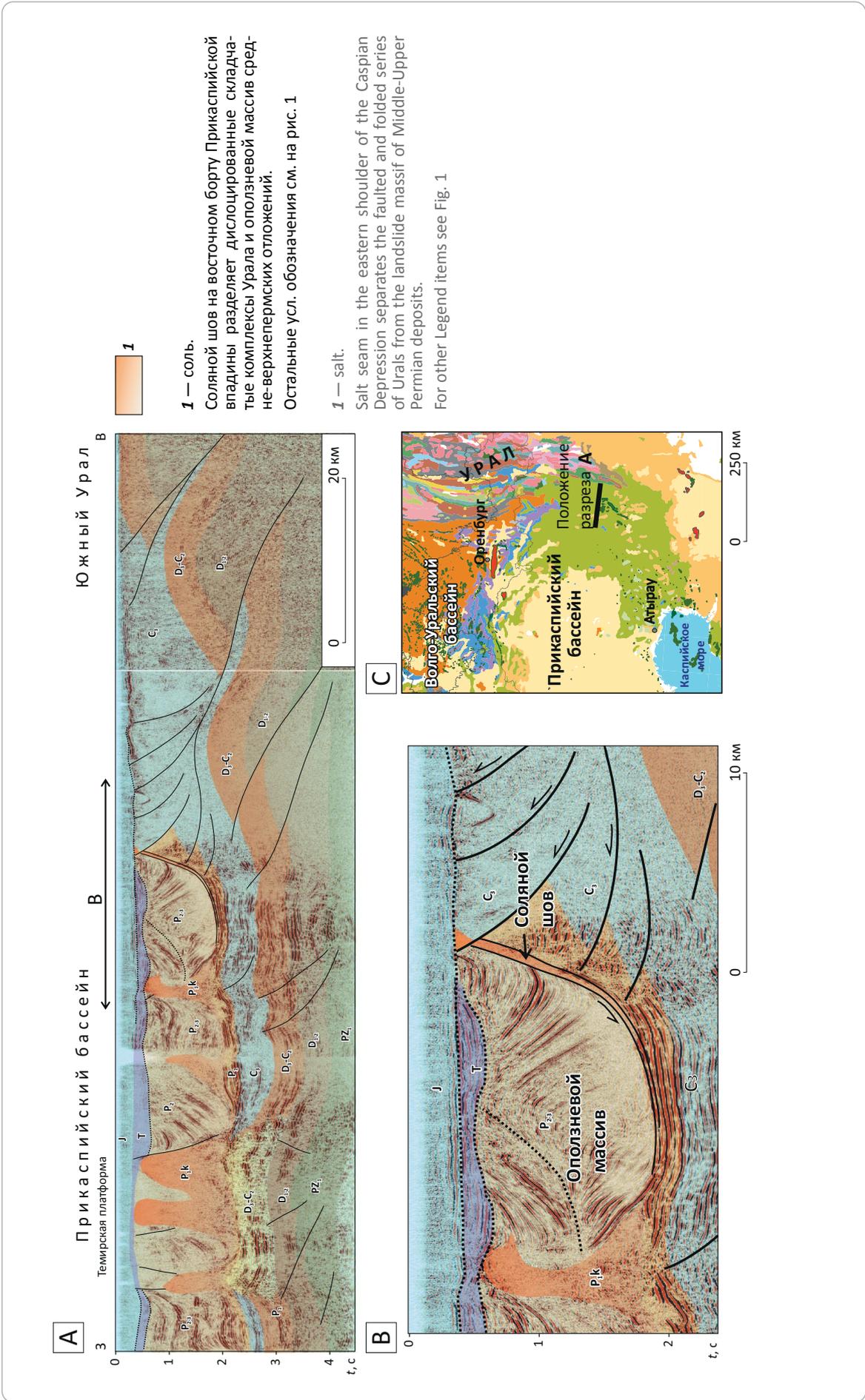
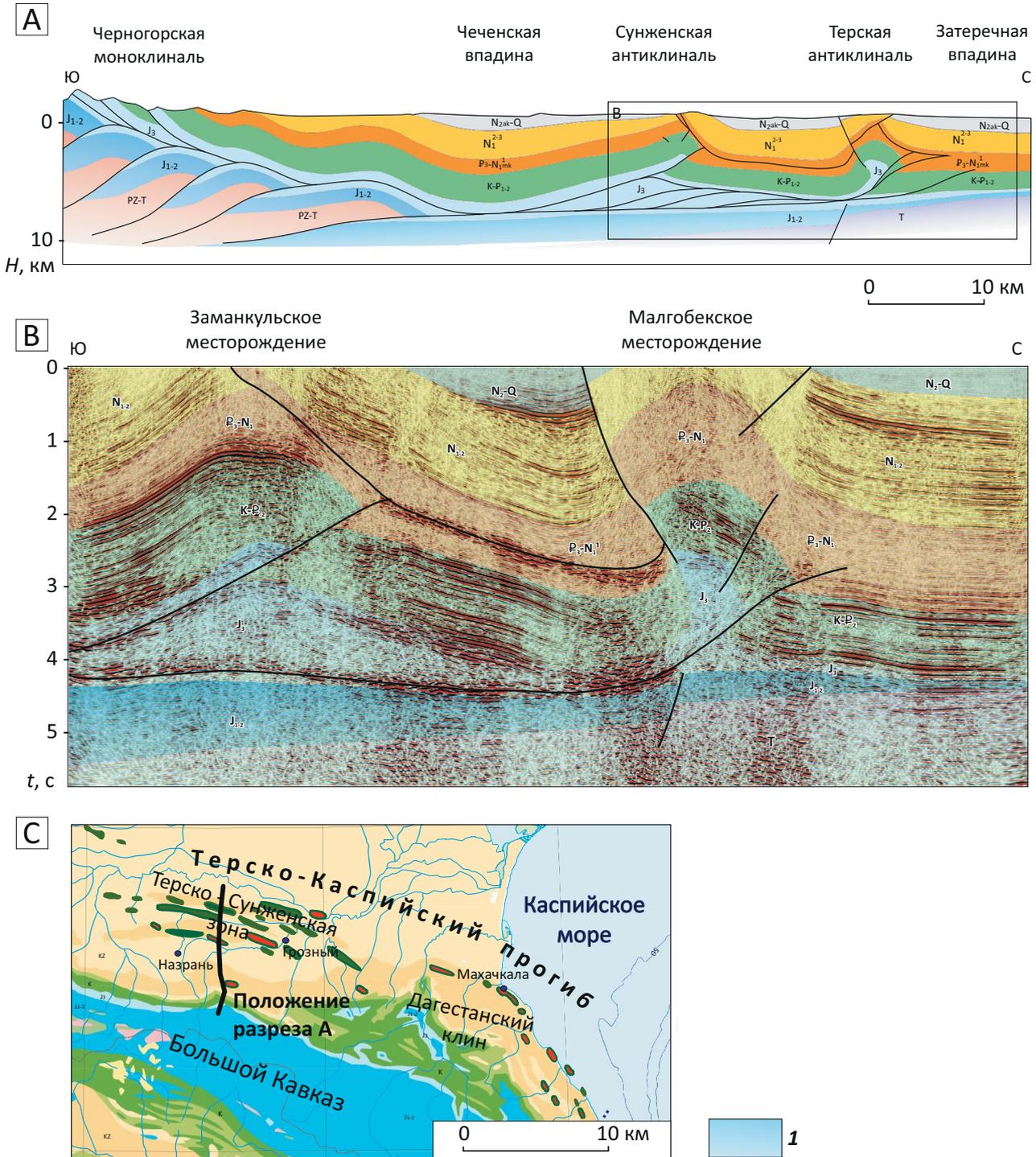


Рис. 8. Геологический (А) и сейсмический (В) разрезы складчатого борта Терско-Каспийского прогиба в районе Терско-Сунженской складчатой зоны и схематическая геологическая карта (С)

Fig. 8. Geological (A) and seismic (B) sections of the folded shoulder of the Tersky-Caspian Trough in the area of Tersky-Sunzhensky folded zone; and schematic geological map (C)



1 — соль.

Интерпретация предполагает присутствие дислоцированных криптодиapiroв, образованных титонскими солями. Остальные усл. обозначения см. на рис. 1

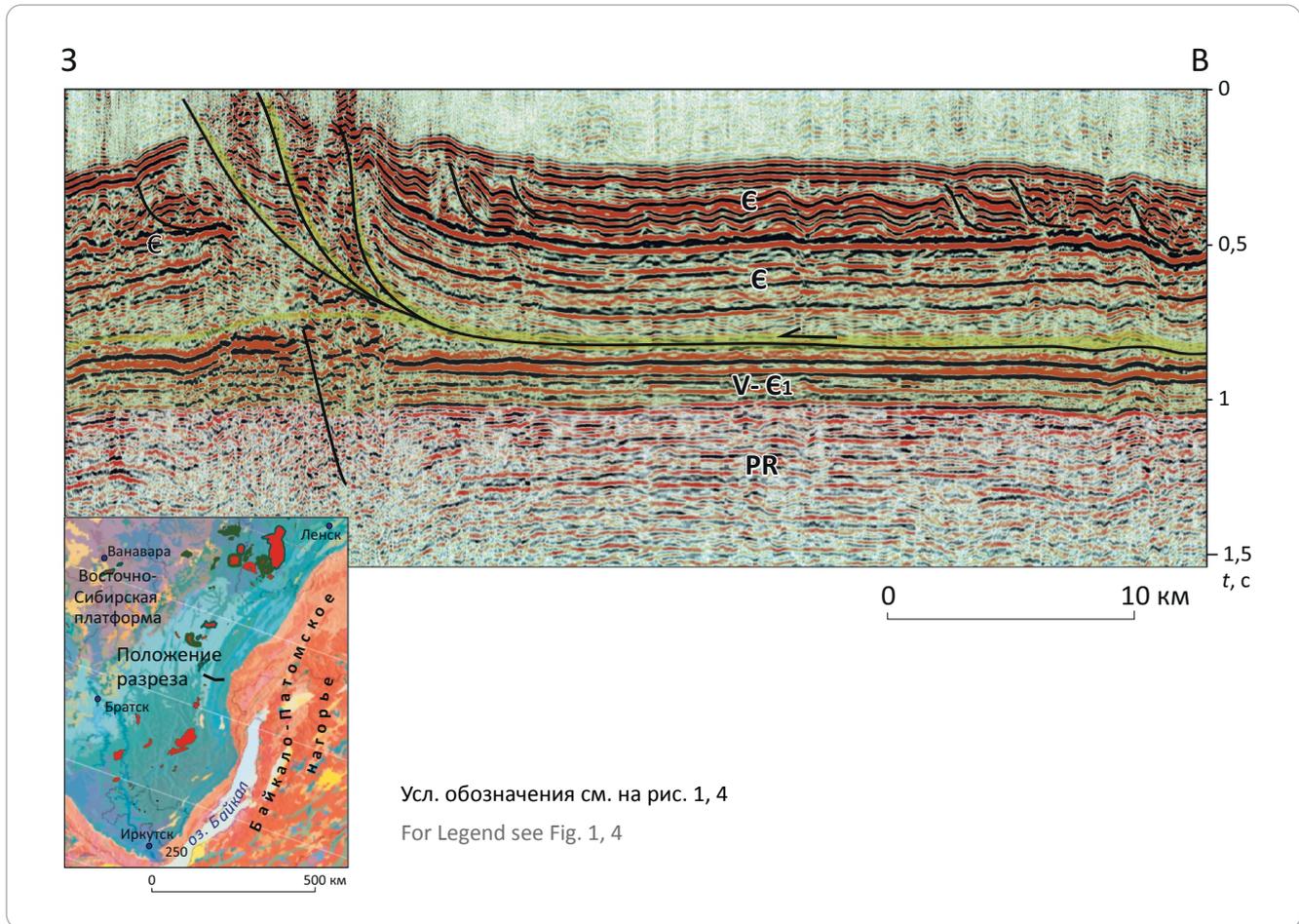
1 — salt.

Interpretation allows supposing the presence of faulted and folded cryptodiapiro formed by Tithonian salts. For other Legend items see Fig. 1



Рис. 9. Интерпретированный сейсмический разрез Предпатомского прогиба с указанием положения пластового срыва на уровне кембрийских солей

Fig. 9. Interpreted seismic section of Predpatomsky Trough with position of subhorizontal thrust at the level of Cambrian salts



рального перемещения солей из зоны быстрого погружения в осевой зоне краевого прогиба. Подобное соляное поднятие имеет черты сходства с Терской и Сунженской антиклинальными зонами, грядами Чернова и Чернышева на ранних этапах развития, а также с рядом других регионов (см. рис. 4, 8).

Во внутренней части пояса надвигов дуплексные деформации, вероятно, перекрыты соленосной толщей того же возраста. В пользу этого предположения свидетельствует то, что этот структурный уровень разделяет дисгармонично дислоцированные комплексы, подобно тому, как это происходит в Южном Предуралье (см. рис. 7). Вероятно, он является поверхностью расслоения чехла, что часто обеспечивается присутствием солей. Локальные высокоамплитудные нарушения в верхнем структурном этаже, перекрывающем дуплексный аллохтон, выглядят как соляные штоки. Их формирование может быть следствием экструзии соли из ее локальных скоплений в условиях коллизионной складчатости. Высказанные предположения о наличии соли в этой части Верхоянского пояса надвигов, безусловно, нуждаются в проверке. Вместе с тем, отмеченные особенности строения делают присутствие

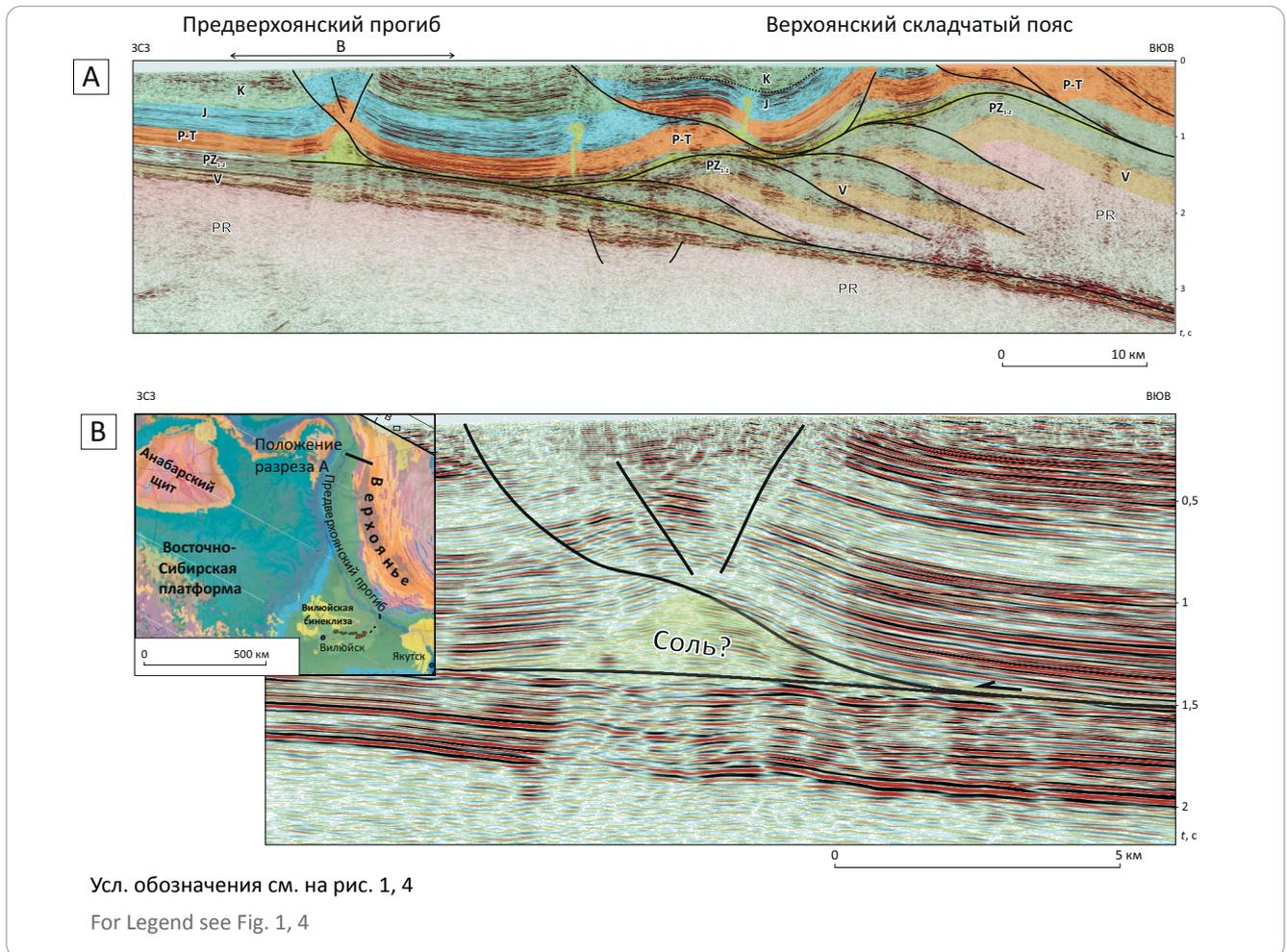
дислоцированных солей в этом районе вполне вероятным. Возраст предполагаемых соленосных отложений может соответствовать среднему – позднему палеозою.

Афгано-Таджикский бассейн

Рассматривая примеры строения складчато-надвиговых поясов Северной и Центральной Евразии, в строении которых участвуют соли, нельзя не остановиться на Афгано-Таджикском бассейне. Накопленные геолого-геофизические данные убедительно показывают, что соленосные отложения верхней юры играют очень важную роль в строении этого бассейна ([28, 29] и др.). Это демонстрирует региональный разрез на рис. 11.

В этом бассейне наблюдается практически повсеместное расслоение осадочного чехла по верхнеюрским солям. В надсолевом осадочном чехле установлено широкое распространение надвиговых структур большой амплитуды. В основании надвигов залегают верхнеюрские соли. Поперечное сокращение протяженности слоев за счет складок и разломов в этом пересечении Афгано-Таджикского бассейна оценивается в 175 км [29]. Основным

Рис. 10. Интерпретированный фрагмент регионального сейсмического разреза северного сегмента Предверхооянского складчато-надвигового пояса (А) и его увеличенный фрагмент, иллюстрирующий строение предполагаемой соляной структуры (В)
Fig. 10. Interpreted fragment of regional seismic section across the northern segment of Predverkhoyansky fold-and-thrust belt (A) and its magnified fragment demonstrating architecture of the supposed salt body (B)



источником деформаций в этом районе является смещение складчатого сооружения Памира на северо-запад.

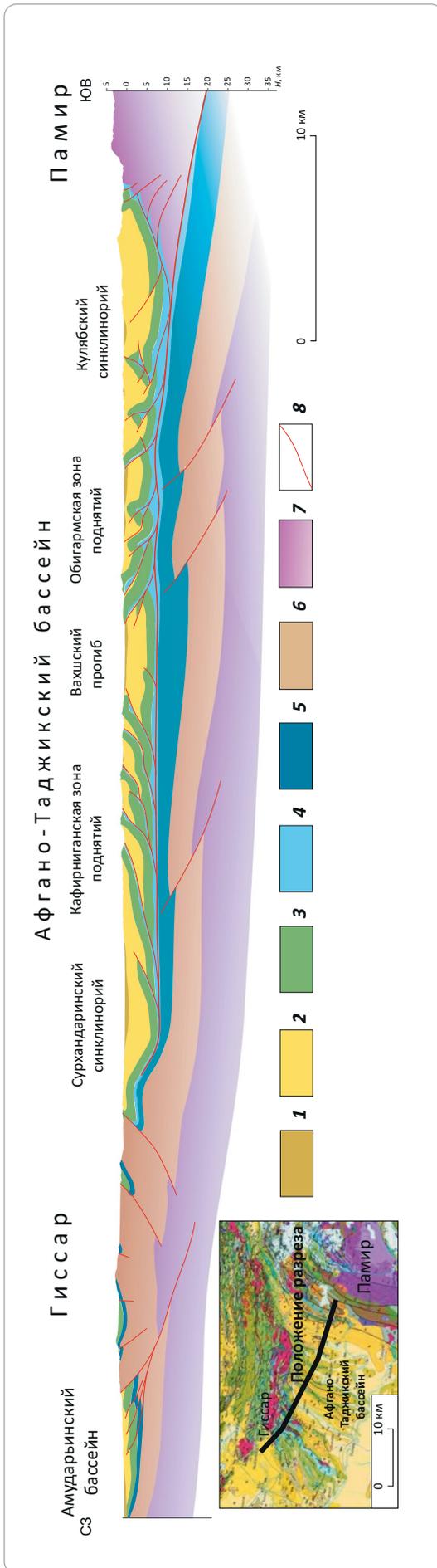
Примечательно, что во внутренней юго-восточной части бассейна надвиги имеют преимущественно генеральную памирскую — северо-западную вергентность. Во внешней северо-западной части бассейна вергентность надвигов обратная, что позволяет определить их как ретронадвиги. Геологический и сейсмический разрезы демонстрируют строение зоны Кафирниганского ретронадвиги, расположенного в северо-западной части впадины (рис. 12).

Амплитуда горизонтального перемещения Кафирниганского надвиги в рассматриваемом сечении составляет около 20 км. В основании надвиговой пластины бурением установлены верхнеюрские соли, по которым происходит расслоение осадочного чехла. Структура Кафирниганского надвиги демонстрирует черты его сходства с антиуральскими ретронадвигами гряд Чернова и Чернышева на северо-востоке Тимано-Печорского бассейна (см. рис. 1 А, 4).

Подводя итог рассмотрению строения складчато-надвиговых поясов с участием солей, можно отметить, что все они обладают значительным разнообразием. Вместе с тем, нетрудно заметить, что у них есть определенные родственные черты. Стиль их деформаций зависит от траектории разрывов. Над участками субпластового расслоения по солям выделяются обширные слабодислоцированные зоны. Примером могут служить Кортаихинская, Косью-Роговская, Чеченская впадины. Они находятся там, где поверхность расслоения залегает полого, что делает возможным перемещение надсолевых отложений без значительных внутренних деформаций. Яркий пример такого рода можно видеть в Предпатомском прогибе (см. рис. 9).

В рамповых зонах типично широкое развитие слепых надвигов и дуплексных структур, что приводит к возникновению дисгармоничной складчатости. Для складчатых зон характерно широкое развитие слепых надвигов и дуплексных структур, что вызывает структурную дисгармонию. Такие структуры можно видеть во внутренних зонах рассмотренных складчатых поясов.

Рис. 11. Региональный геологический разрез Афгано-Таджикского бассейна (составлен с использованием данных ([22, 28, 29] и др.)
Fig. 11. Regional geological cross-section of the Afgano-Tadzhiksky Basin (created using data from ([22, 28, 29], and others)



Усл. обозначения к рис. 11
 Legend for Fig. 11

Стратиграфические комплексы (1–6): 1 — плиоцен-четвертичный, 2 — палеоцен-миоценовый, 3 — меловой, 4 — верхнеюрский (соленосный), 5 — нижне-среднеюрский, 6 — палеозойский; 7 — метаморфизованный фундамент; 8 — разлом

Stratigraphic units (1–6): 1 — Pliocene-Quaternary, 2 — Paleocene-Miocene, 3 — Cretaceous, 4 — Upper Jurassic (salt-bearing), 5 — Lower-Middle Jurassic, 6 — Palaeozoic; 7 — metamorphosed Basement; 8 — fault

Важным элементом развития соленосных складчато-надвиговых зон является существование соляных структур, зарождение которых предшествовало коллизионной складчатости. Они формируются за счет латерального перемещения мобильных солей в асимметричных бассейнах континентальных окраин и краевых прогибов. Такие структуры широко распространены в современных бассейнах континентальных окраин. В условиях сжатия они трансформировались в раздавленные диапиры и тектонические покровы с солью в подошве. Во многих случаях такие покровы имеют вергенцию, обратную генеральной, образуя ретронадвиги. По существу, они представляют собой кровельные надвиги, перекрывающие пододвинутые под них глубинные аллохтонные пластины. Важное структурное значение имеют зоны выклинивания солей. Часто они определяют локализацию складчато-надвиговых деформаций.

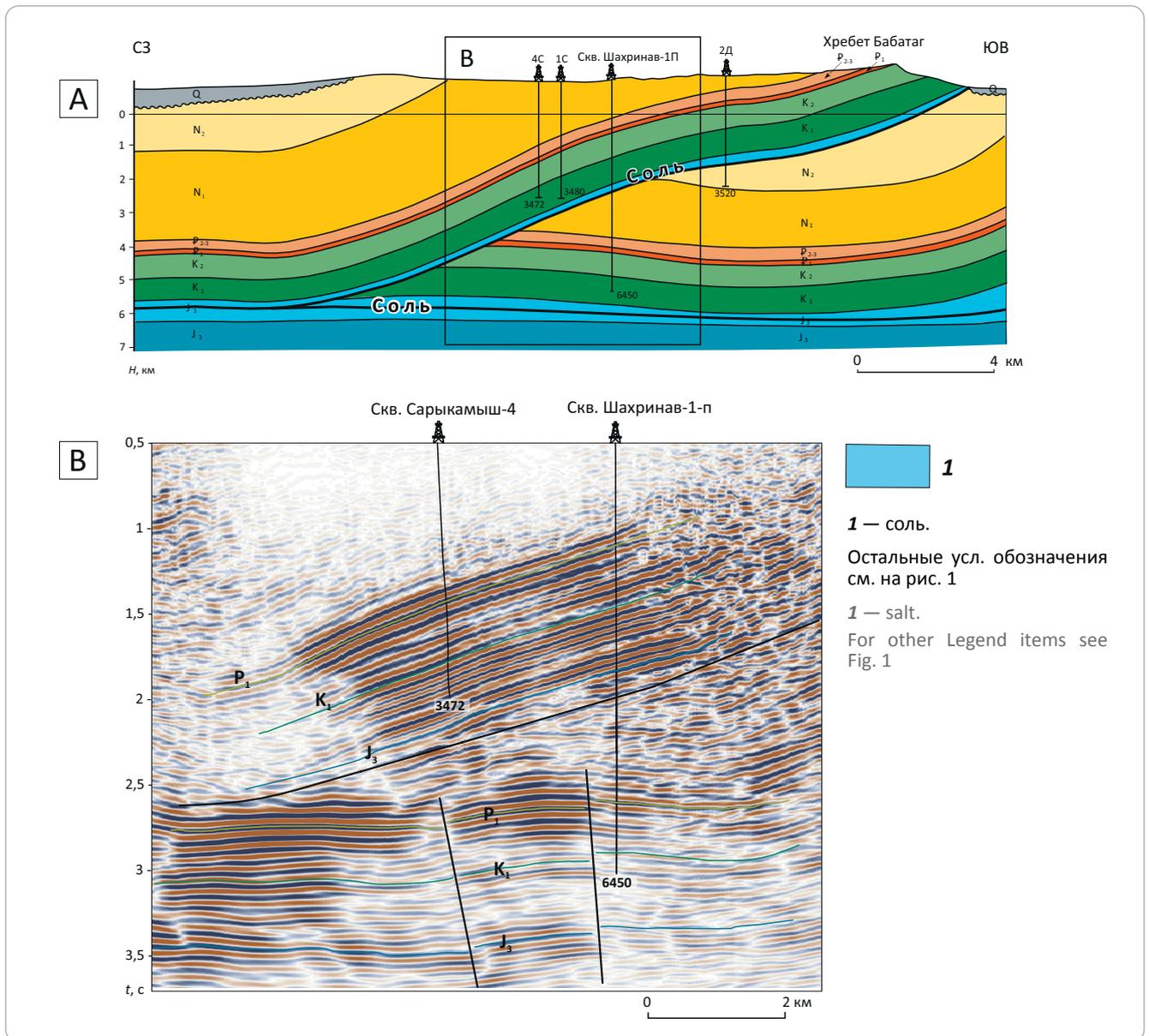
Структурная выраженность деформаций в соленосных складчато-надвиговых поясах в большой степени определяется степенью тектонического сжатия. Так, в пределах Прикаспийской впадины надвиговые деформации охватывают узкую предуральскую часть бассейна (см. рис. 7). В Афгано-Таджикском бассейне (см. рис. 11) контрастные складчато-надвиговые структуры распространены практически повсеместно.

Нефтегазоносность

Результаты геолого-разведочных работ на нефть и газа в соленосных складчато-надвиговых поясах часто превосходят ожидания. Примером может быть упомянутый бассейн Персидского залива ([4, 15, 17] и др.). В Китае значительная часть прироста запасов нефти и газа в последние годы относится к подобным районам ([30] и др.). Основные запасы нефти и газа в Предуралье также связаны с районами распространения кунгурской соленосной покрывки ([22] и др.).

Из накопленного опыта следует, что влияние солей на нефтеносность является известным фактором, непосредственно определяющим строение ловушки. Известно, что соли представляют собой наиболее надежную покрывку для залежей нефти и газа. Соляные структуры способствуют формированию разнообразных ловушек нефти и газа, в их числе высокорельефные складки и моноклинали, экранированные солью, высота которых может из-

Рис. 12. Геологический (А) и сейсмический (В) разрезы Кафирниганской надвиговой зоны (по [28] с дополнениями)
Fig. 12. Geological (A) and seismic (B) sections of the Kafirniigansky thrust zone (according to [28], complemented)



меряться километрами. С ними связаны зоны несогласий и системы разломов, которые также участвуют в формировании ловушки.

В дополнение к сказанному представляется важным упомянуть некоторые менее очевидные факторы. В частности, карстование соленосных сульфат-ангидритовых пород и доломитизация карбонатов агрессивными флюидами локально приводят к формированию горизонтов высокочемических коллекторов. Кроме того, длительное многостадийное развитие соляных структур влияет на седиментационные обстановки в перекрывающих отложениях. В благоприятных условиях это способствует образованию карбонатных банок, рифов, обломочных шлейфов, которые в дальнейшем способны стать коллекторами нефти и газа. При наличии

благоприятных геологических условий эти факторы обеспечивают высокую концентрацию запасов нефти и газа.

Многие из перечисленных факторов хорошо известны и не нуждаются в дополнительной аргументации. Рассмотрим особенности строения зон развития соляных структур, которые установлены на основании изучения новых данных, характеризующих строение складчатых зон Тимано-Печорского бассейна. Они касаются зон карстования и доломитизации, а также симбиоза соляных структур и карбонатных банок и рифов.

Карстование

В зонах соляной тектоники влияние постседиментационных процессов на свойства резервуаров разнообразно ([3, 9, 31] и др.). Высокоминерализо-

ванные воды могут приводить к цементации пустотного пространства. Кроме того, доломитизация и карстование способствуют образованию высокоемких коллекторов. Данные сейсморазведки 3D показывают, что в зонах дислоцированных диапиров карстование может иметь большое значение. Оно вызывается активной циркулирующей агрессивных минерализованных вод, которые связаны с присутствием соленосных пород и контрастным структурным рельефом зон соляной тектоники ([3, 9] и др.). Пример карстования карбонатно-ангидритовых пород серпуховского яруса на восточном склоне Поварницкого поднятия показан на рис. 13. Поварницкое поднятие частично перекрыто массивной антиуральской тектонической пластиной с верхнеордовикскими солями в подошве (ретронадвигом).

На горизонтальном срезе сейсмического куба амплитуд в глубинной области (см. рис. 13 А) зоне карстования отвечают кольцевые структуры, которые соответствуют карстовым воронкам. Диаметр наиболее крупных воронок достигает 2 км. На сейсмическом разрезе (см. рис. 13 В) показано внутреннее строение зоны карстования. В закарстованном интервале выделяются многочисленные разломы небольшой амплитуды. Образцы керн из этих отложений могут содержать крупные пустоты, связанные с выщелачиванием (рис. 14). Над зоной карстования в перекрывающих отложениях существует прогиб (карстовая воронка), глубина которого составляет около 200 м. Выраженность этого прогиба уменьшается вверх по разрезу. Это указывает на большую продолжительность постседиментационного карстования.

Симбиоз соляных структур и рифов

При рассмотрении структурно-седиментационного развития соляных структур следует иметь в виду, что условия для диапиризма солей возникают на ранних этапах геологического развития бассейнов континентальных окраин. Инверсия плотности соли и перекрывающих пород, которая активизирует механизм диапиризма, возникает в условиях, когда соль перекрыта сравнительно маломощным чехлом ([3] и др.). Для карбонатных пород это значение составляет менее 1 км, для терригенных — до 1,5 км. Естественно, что в соляных бассейнах, где толщина надслоевых отложений может достигать 10 км и более, соляные структуры проходят длительное, многоэтапное развитие. Формирование высокоамплитудных соляных структур оказывало существенное влияние на рельеф поверхности осадочного бассейна, определяя фациальную зональность накапливающихся осадков. В пределах бассейнов палеозойских континентальных окраин с преобладающей карбонатной седиментацией соляные структуры могут влиять на фациальную зональность, определяя положение рифовых трендов. Контроль седиментационных обстановок соляными структурами в районе гряды Чернышева иллюстрирует сейсмический разрез на рис. 15.

Этот разрез демонстрирует существование аградационных карбонатных построек в разрезе верхнедевон-нижнепермских отложений, под которыми выделяется подушка верхнеордовикских солей. Современное строение соляной толщи модифицировано наложенными деформациями, однако связь соляных структур и карбонатных построек здесь весьма вероятна. Подобное соседство позволяет говорить о симбиозе соляных поднятий и карбонатных банок и рифов в перекрывающих отложениях. Взаимосвязь соляных поднятий и карбонатных банок установлена в ряде районов мира. Например, в Мексике над соляными подушками формировались верхнеюрские оолитовые отмели, которые содержат высокоемкие резервуары нефти и газа [32].

В зонах, которые подверглись складчато-надвиговым деформациям, выявление карбонатных построек и установление их возможной связи с древними соляными поднятиями может быть гораздо более сложным. Дело в том, что в складчатых поясах связь этих процессов маскируется наложенными деформациями. Последние вызваны коллизионной складчатостью, перераспределением масс подвижных солей, их экструзией на поверхность и растворением. В результате соляные структуры в ходе своего развития меняют конфигурацию и объем. В крайних случаях соль может быть полностью вынесена из деформируемого объема пород. Соответственно, восстановление хода структурно-седиментационного развития районов соляных структур может быть крайне сложным.

Признаки такой связи наблюдаются в пределах гряды Чернышева в Тимано-Печорском бассейне. Реконструкция структурного развития показывает, что до коллизионной складчатости в этом районе существовала система соляных поднятий, которая образовывала флексурную зону между мелководной платформенной частью шельфа и его глубоководной уральской частью. В этой зоне формировались карбонатные банки и оолитовые отмели, окаймленные рифами. В условиях коллизионной складчатости соли были выдавлены из соляных валов с образованием дивергентных надвигов и соляных глетчеров. В результате надслоевые карбонатные постройки в ряде районов оказались перекрыты аллохтонными пластинами с солями в основании ([21] и др.). Это позволяет рассматривать образовавшиеся в таких условиях ловушки в качестве перспективных поисковых объектов на нефть и газ. Подобные ловушки могут существовать и в других соленосных складчато-надвиговых поясах. Высокая дебитность месторождений Терско-Сунженской зоны, кроме тектонической трещиноватости, может также в определенной степени быть следствием продолжительного роста соляных структур, что влияло на осадконакопление в перекрывающих толщах.

Большое многообразие деформаций в складчато-надвиговых поясах значительно усложняет надежную интерпретацию геолого-геофизических

Рис. 13. Сейсмическое выражение карстовых воронок в визейско-нижнепермских отложениях Поварницкого поднятия Тимано-Печорского бассейна (данные ООО «СУНГК»)
Fig. 13. Seismic imaging of karst potholes in Visean-Lower Permian deposits of Povarnitsky uplift, Timan-Pechora Basin (data from SUNGK)

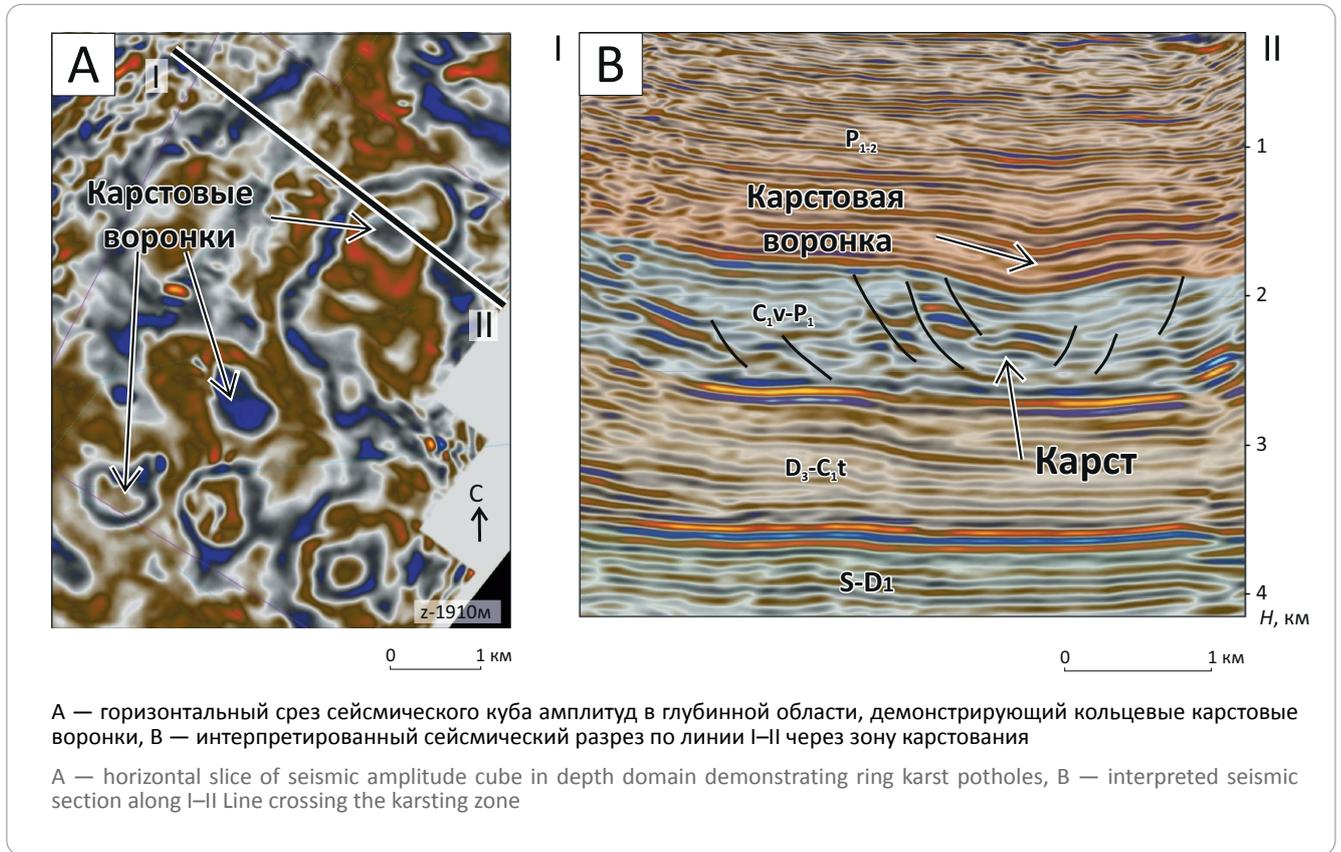
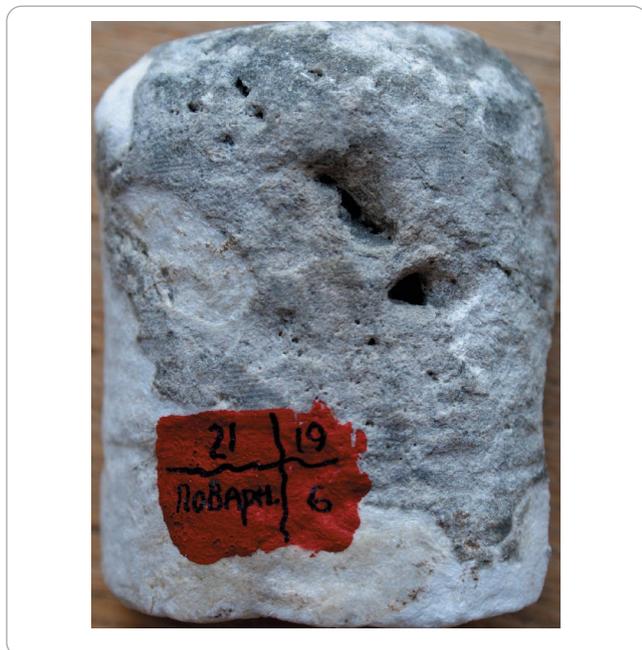


Рис. 14. Фотография образца ядра карбонатно-ангидритовых отложений серпуховского яруса с карстовыми полостями (скв. Поварницкая-21, Тимано-Печорский бассейн)
Fig. 14. Image of carbonate-anhydrite sample of core taken from Serpukhovskiy Stage, with karst cavities (Povarnitskaya-21 well, Timan-Pechora Basin)



данных. Очевидно, что проведение геолого-разведочных работ в подобных условиях требует использования самых современных технологий и знаний, полученных в результате изучения мирового опыта работ в районах аналогичного строения. Вместе с тем это создает дополнительные возможности для выявления новых типов залежей нефти и газа. В частности, перспективные поисковые объекты могут быть обнаружены в зонах, перекрытых соляными аллохтонами. Такие структуры прогнозируются в ряде районов северо-востока Тимано-Печорского бассейна, где распространены соли позднеордовикского возраста.

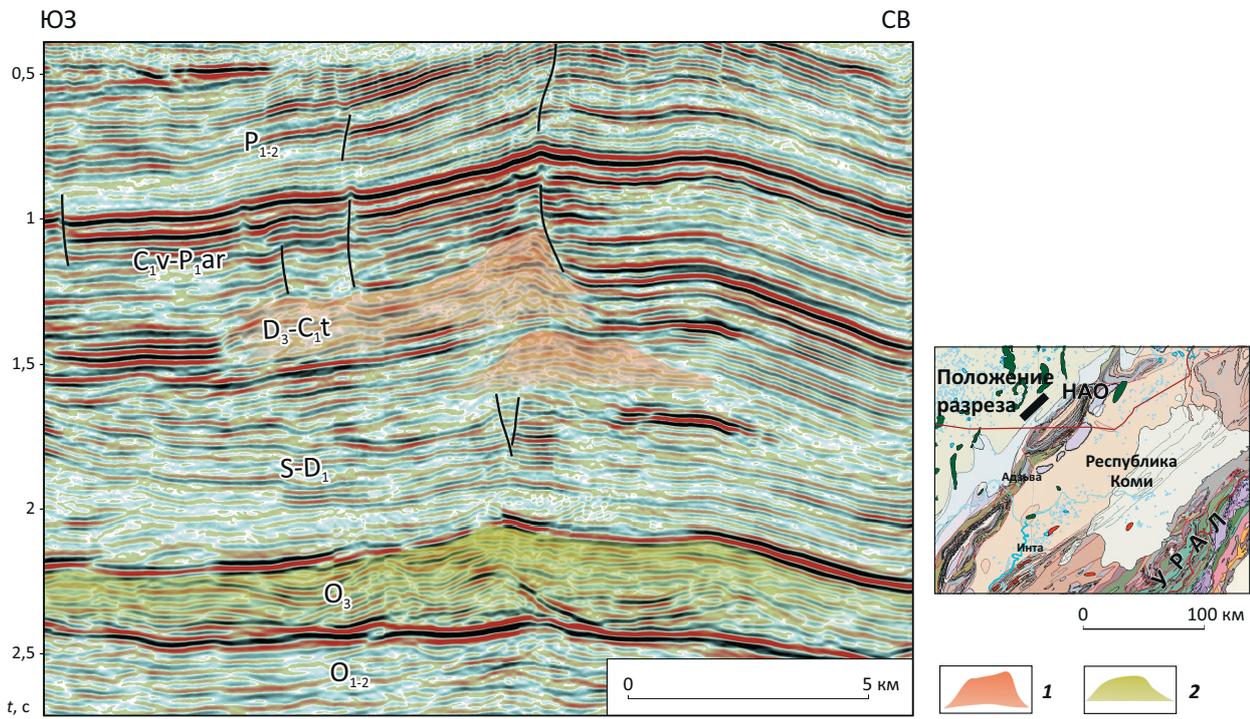
На рис. 16 показано наличие предполагаемых соляных покровов в Коротайхинской впадине. Интерпретация данных сейсморазведки показывает, что эти мобильные соли образуют выжатые покровы в разрезе пермских синколлизионных отложений. Несогласия в кровле соляных тел свидетельствуют о том, что образование соляных аллохтонов происходила в ходе пермской складчатости. Под соляными покровами сходной морфологии выявлен ряд крупных месторождений нефти и газа в Мексиканском заливе ([3] и др.).

Факторы риска

Изучение опыта геолого-разведочных работ в соленосных складчато-надвиговых зонах показы-

OIL AND GAS POTENTIAL AND GEOLOGICAL EXPLORATION RESULTS

Рис. 15. Сейсмический разрез западного борта гряды Чернышева
Fig. 15. Seismic section of the western shoulder of the Chernyshev Ridge



Агградационные карбонатные постройки в разрезе верхнедевон-турнейских отложений подстилаются подушкой верхне-ордовикских солей

1 — карбонатная постройка; 2 — соль

Остальные усл. обозначения см. на рис. 1, 4

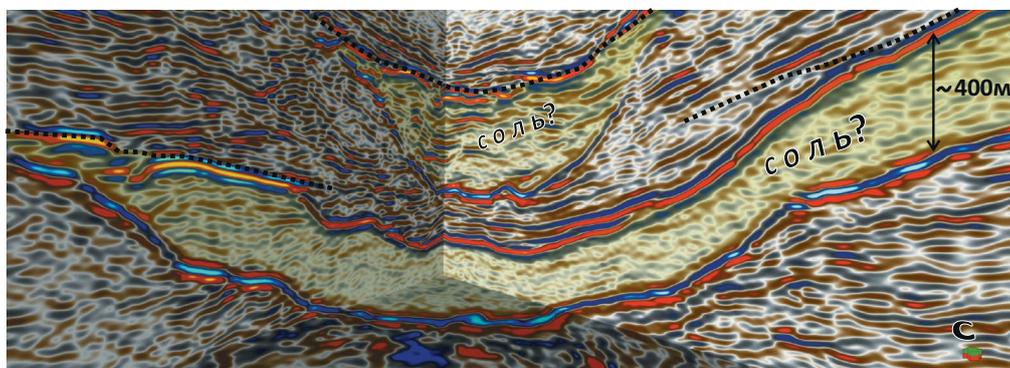
Aggradation carbonate buildups in the Upper Devonian-Tournaisian section with subjacent Upper Ordovician salt pillow

1 — carbonate buildup; 2 — salt

For other Legend items see Fig. 1, 4

Рис. 16. Объемное сейсмическое изображения зоны вероятного распространения соляных аллохтонных покровов в Кортаихинской впадине

Fig. 16. 3D seismic image of the zone of the supposed occurrence of salt allochthon mantle in Korotaikhinsky Depression



1 2

1 — соли; 2 — несогласие

1 — salt; 2 — unconformity

вают наличие ряда присущих им факторов риска ([3, 4, 17, 21] и др.).

1. Высокий уровень эксгумации районов, которые испытали значительный подъем за счет крупноамплитудного перемещения по наклонным поверхностям расслоения осадочного чехла и дуплексной складчатости. Это может приводить к тому, что уровень эрозионного среза будет составлять 2–3 км и более. В результате возникает дефицит коллекторов и избыточно высокий уровень преобразования ОБ нефтегазоматеринских отложений.

2. Постмиграционное образование ловушек в бассейнах с большой толщиной осадочного чехла, характерное для многих из рассмотренных районов и приводящее к тому, что ранние миграционные потоки следуют транзитом, так как ловушки коллизийной складчатости еще не сформировались. Следствием этого является низкая степень заполнения таких ловушек. Они могут получать УВ главным образом за счет остаточной миграции и ремиграции.

3. Быстрое формирование высокоамплитудных соляных структур может сопровождаться образованием систем разломов над ними. Эти разломы способны нарушать целостность затронутых ими покрышек и разрушать залежи.

Минимизация перечисленных рисков требует комплексной интерпретации геолого-геофизических данных с учетом регионального нефтегеологического контекста. Кроме перечисленных геологических факторов риска следует иметь в виду сложность получения надежной геологической информации в рассматриваемых районах. Проведение работ в подобных условиях требует комплексного применения современных геотехнологий.

Заключение

Соленосные складчато-надвиговые зоны выделяются в разных регионах Евразии. Многие из них слабо изучены, что связано со сложностями получения достоверной геологически значимой информации в зонах складчатости и с резкими изменениями физических свойств деформированных отложений в пределах одной зоны. Сравнительное изучение строения различных соленосных складчато-надви-

говых зон позволяет выделить специфические черты их строения и лучше понять ход их формирования. Общим для этих зон является распространение складчато-надвиговых деформаций на обширных площадях, что связано с расслоением осадочного чехла по солям. Соответственно, для корректной интерпретации строения отдельных частей этих зон важно понимать региональный структурный контекст, так как источники деформаций могут находиться на большом удалении от исследуемых зон складчатости.

Стиль деформаций соленосных складчато-надвиговых зон зависит от траектории разрывов. Над участками субпластового расслоения по солям выделяются обширные слабодислоцированные зоны. В рамповых зонах типично широкое развитие слепых надвигов и дуплексных структур, что приводит к образованию дисгармоничной складчатости. Локализация складчатости часто связывается с зонами долгоживущих соляных структур. К ним часто приурочены ретронадвиги с солями в подошве.

Влияние солей на нефтегазоносность зависит от множества факторов. Соли представляют собой наиболее надежную покрышку для залежей нефти и газа. Соляные структуры формируют разнообразные ловушки нефти и газа, в том числе высокорельефные складки и моноклинали, экранированные солью, высота которых может измеряться километрами. Характерным для районов соляной тектоники является наличие зон доломитизации и карстования карбонатных пород, которые могут представлять собой высокочемкие коллекторские интервалы. Длительное формирование соляных структур способствует появлению условий для образования карбонатных банок, рифов, обломочных шлейфов, которые в дальнейшем могут служить резервуарами нефти и газа.

В целом, несмотря на ряд специфических факторов риска, многофакторное влияние соленосных толщ на структурно-седиментационное развитие складчатых поясов создает условия для формирования в их пределах крупных скоплений нефти и газа.

Литература

1. Соборнов К.О. Структурные стили надвиговых зон краевых прогибов Урала и Пай-Хоя // Геотектоника. – 2023. – № 3. – С. 17–40. DOI: 10.31857/S0016853X23030086.
2. Graham R., Jackson M., Pilcher R., Kilsdonk B. Allochthonous salt in the sub-Alpine fold-thrust belt of Haute Provence, France. // Salt Tectonics, Sediments and Prospectivity. Geological Society, London, Special Publications. – 2012. – Т. 363. – С. 595–615. DOI: 10.1144/SP363.30.
3. Jackson M.P.A., Hudec M.R. Salt tectonics: principles and practice. – Cambridge University Press, 2017. – 498 с. DOI: 10.1017/9781139003988.
4. Kendall J., Vergès J., Koshnaw R., Louterbach M. Petroleum tectonic comparison of fold and thrust belts: the Zagros of Iraq and Iran, the Pyrenees of Spain, the Sevier of Western USA and the Beni Sub-Andean of Bolivia // Fold and Thrust Belts: Structural Style, Evolution and Exploration. Geological Society, London, Special Publications. – 2019. – Т. 490 DOI: 10.1144/SP490-2018-102.
5. Pfiffner O.A. Thick-skinned and thin-skinned tectonics: A global perspective // Geosciences. – 2017. – № 7. – 71 с. DOI: 10.3390/geosciences7030071.

6. Грунис Е.Б., Ростовщиков В.Б., Богданов Б.П. Соли ордовика и их роль в особенностях строения и нефтегазоносности северо-востока Тимано-Печорской провинции // Георесурсы. – 2016. – Т. 18. – № 1. – С. 13–23. DOI: 10.18599/grs.18.1.3.
7. Данилов В.Н. Гряда Чернышева: геологическое строение и нефтегазоносность. – СПб. : ООО «Реноме», 2017. – 288 с.
8. Юдин В.В. Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. – Екатеринбург : Наука. – 1994. – 286 с.
9. Беленицкая Г.А. Соли Земли: тектонические, кинематические и магматические аспекты геологической истории. М.: ГЕОС. – 2020. – 605 с.
10. Гайдук В.В., Прокопьев А.В. Методы изучения складчато-надвиговых поясов. – Новосибирск : Наука, 1999. – 160 с.
11. Соборнов К.О. Геодинамический контроль нефтегазоносности Предуралья// Георесурсы. – 2023. – Т. 25. – № 2. – С. 40–56. DOI: 10.18599/grs.2023.2.13.
12. Шапорина М.Н., Мосягин Е.В., Садур О.Г., Беспечный В.Н. Геолого-геофизические особенности строения Предверхоанского краевого прогиба и прилегающих территорий по данным нового сейсморазведочного речного профиля МОГТ-2D и переинтерпретации архивных материалов // Геология нефти и газа. – 2021. – № 5. – С. 55–73. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-5-55-73.
13. Gil W., Flinch J.F. Several types of triangle zones from the Subandean ranges of Peru: Fish-tails, tectonic wedges and passive-roof duplexes // Marine and Petroleum Geology. – 2022. – Т. 146. – 105968. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2022.105968.
14. Sobornov K.O. Structure and evolution of the Terek-Caspian fold-and-thrust belt: new insights from regional seismic data // Journal of Petroleum Geology. – 2021. – Т. 44. – № 3. – С. 259–286. DOI: 10.1111/jpg.12793.
15. Alipour M., Petroleum systems of the Iranian Zagros Fold and Thrust Belt // Results in Earth Sciences. – 2024. – № 2. – 100027. DOI: 10.1016/j.rines.2024.100027.
16. Tamas D.M., Schleder Z., Krézsek C., Man S., Filipescu S. Understanding salt in orogenic settings: The evolution of ideas in the Romanian Carpathians // AAPG Bulletin. – 2018. – Т. 102. – № 6. – С. 941–958. DOI: 10.1306/0913171615517088.
17. Bishop R.S. Origins and habitats of supergiant fields: An Interpretation // AAPG Bulletin. – 2023. – Т. 107. – № 8. – С. 1199–1256. DOI: 10.1306/05152321190.
18. Callot J.-P., Trocme V., Letouzey J., Albouy E., Jahani S., Sherkati S. Pre-existing salt structures and the folding of the Zagros Mountains // Salt Tectonics, Sediments and Prospectivity. Geological Society, London, Special Publications. – 2012. – Т. 363. – № 1. – С. 545–561. DOI: 10.1144/SP363.27.
19. Bally A.W., Sawyer D., Sinkewich A. Global Tectonic and Basin Maps Albert [Электронный ресурс] // Search and Discovery. – 2020. – Режим доступа: https://www.searchanddiscovery.com/documents/2020/30444bally/ndx_bally.pdf (дата обращения).
20. Анищенко Л.А., Вишератина Н.П., Гудельман А.А., Данилов В.Н. Геологическое строение и перспективы газоносности западного склона Полярного и Приполярного Урала (по результатам геолого-разведочных работ) / Под ред. В.Н. Данилова. – СПб. : ФГУП «ВНИГРИ», 2015. – 264 с.
21. Sobornov, K., Korotkov, I., Yakovlev, D., Kulikov, V., Kudriavtsev K. Backthrust play of the Chernyshev swell, Timan-Pechora Basin: Reentry into a legacy exploration site based on multidisciplinary study // Interpretation. – 2022. – Т. 10. – № 3. – С. T531–T542. DOI: 10.1190/INT-2021-0203.1.
22. Шеин В.С. Геология и нефтегазоносность России. – М. : ВНИГНИ, 2012. – 848 с.
23. Sobornov K., Al'zhanov Kh. M. Structure and Petroleum Habitat of the Uralian Foreland Thrust Belt // EAGE-KazGeo 2010 Conference. Where Geoscience Meets the Silk Road : мат-лы межд. конф-ии Алматы, Казахстан. – 2010.
24. Мигурский Ф.А., Якупова Е.М. Новые данные о геологическом строении антиклинальных структур северной части Предверхоанского перикратонного прогиба // Геология нефти и газа. – 2017. – № 5. – С. 31–36.
25. Мигурский Ф.А. Геодинамика каледонской Байкало-Патомской складчатой области и ее влияние на нефтегазоносность Предпатомского перикратонного прогиба // Геология и минеральные ресурсы Сибири. – 2022. – № 3. – С. 3– 16. DOI: 10.20403/2078-0575-2022-3-3-16.
26. Шемин Г.Г., Вахромеев А.Г., Мигурский А.В. и др. Перспективы нефтегазоносности региональных резервуаров Предпатомского регионального прогиба (Сибирская платформа). – Новосибирск : Изд-во СО РАН. – 2018. – 315 с. DOI: 10.15372/PROSPECTS2018SGG.
27. Соколов Б.А., Трофимук А.А. Поднадвиговая нефтегазоносность платформ — новое направление нефтегазовой геологии // Теоретические и региональные проблемы геологии нефти и газа : сб. науч. тр. – Новосибирск : Наука, 1991. – С. 116–124.
28. Гризик А.Я., Заболотная Ю.И., Садртдинов Р.Ф., Ворожбицкий А.В. Перспективы нефтегазоносности поднадвиговой структуры Шахринав (Республика Таджикистан) // Вести газовой науки. – 2014. – Т. 19. – № 3. – С. 70–76.
29. Gqgala L., Ratschbacher L., Ringenbach J.-C., Kufner S.-K., Schurr B., Dedow R., et al. Tajik Basin and Southwestern Tian Shan, Northwestern India-Asia collision zone: 1. structure, kinematics, and salt tectonics in the Tajik fold-and-thrust belt of the Western Foreland of the Pamir [Электронный ресурс] // Tectonics. – 2020. – Т. 39. – № 5. – Режим доступа: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019TC005871>. DOI: 10.1029/2019TC005871.
30. Yu Y., Tang L., Yang W., Huang T., Qiu N., Li W. Salt structures and hydrocarbon accumulations in the Tarim Basin, northwest China // AAPG Bull. – 2014. – Т. 98. – № 1. – С. 135–159. DOI:10.1306/05301311156.
31. Даньщикова И.И., Майдль Т. В. Постседиментационные преобразования в силурийских карбонатных породах центральной части гряды Чернышева (Тимано-Печорская провинция) // Литология и полезные ископаемые. – 2023. – № 6. – С. 613–623. DOI: 10.31857/S0024497X23700246.
32. Shann M.V., Vazquez-Reyes K., Ali H.M., Horbury A.D. The Sureste Super Basin of southern Mexico // AAPG Bull. – 2020. – Т. 104. – С. 2643–2700. DOI: 10.1306/09172020081.

References

1. Sobornov K.O. Structural styles of thrust zones of the Urals and Pay-Khoi Foredeep. *Geotectonics*. 2023;57(3):263–283. In Russ.
2. Graham R., Jackson M., Pilcher R., Kilsdonk B. Allochthonous salt in the sub-Alpine fold-thrust belt of Haute Provence, France. *Salt Tectonics, Sediments and Prospectivity. Geological Society, London, Special Publications*. 2012;(363):595–615.
3. Jackson M.P.A., Hudec M.R. Salt tectonics: principles and practice. Cambridge University Press; 2017. 498 p. DOI: 10.1017/9781139003988.
4. Kendall J., Vergès J., Koshnaw R., Louterbach M. Petroleum tectonic comparison of fold and thrust belts: the Zagros of Iraq and Iran, the Pyrenees of Spain, the Sevier of Western USA and the Beni Sub-Andean of Bolivia. In: *Fold and Thrust Belts: Structural Style, Evolution and Exploration. Geological Society, London, Special Publications*. 2019. V. 490. DOI: 10.1144/SP490-2018-102.
5. Pfiffner O.A. Thick-skinned and thin-skinned tectonics: A global perspective. *Geosciences*. 2017;(7):71. DOI: 10.3390/geosciences7030071.
6. Grunis E.B., Rostovshchikov V.B., Bogdanov B.P. Ordovician Salts and Their Role in the Structure and Oil and Gas Potential of the Northeast of the Timan-pechora Province. *Georesources = Georesources*. 2016;18(1):13–23. 23. DOI: 10.18599/grs.18.1.3. In Russ.
7. Danilov V.N. The Chernyshev ridge: geological structure and petroleum potential. St. Petersburg: Renome; 2017. 288 p. In Russ.
8. Yudin, Orogeny of the Northern Urals and PayKhoi. Yekaterinburg: Nauka; 1994. 286 p. In Russ.
9. Belenitskaya G.A. Salts of the Earth: tectonic, kinematic and magmatic aspects of geological history. Moscow. GEOS; 2020. 605 p. In Russ
10. Gaiduk V.V., Prokopiev A.V. Methodology of fold-overthrust belts study. Novosibirsk: Nauka. Sib. Enterprise of RAN; 1999. 160 p.
11. Sobornov K.O. Geodynamic control on the petroleum habitat of the Uralian Foreland. *Georesources*. 2023;25(2):187–202. In Russ. DOI: 10.18599/grs.2023.2.13
12. Shaporina M.N., Mosyagin E.V., Sadur O.G., Bespechnyi V.N. Geological and geophysical structural features of Predverkhoyansky Foreland Basin and neighbouring areas: data from new along-river 2D CDP seismic survey line and reinterpretation of legacy data. *Geologiya nefi i gaza*. 2021;(5):55–73. DOI: 10.31087/0016-7894-2021-5-55-73. In Russ.
13. Gil W., Flinch J.F. Several types of triangle zones from the Subandean ranges of Peru: Fish-tails, tectonic wedges and passive-roof duplexes. *Marine and Petroleum Geology*. 2022;(146):105968. DOI: 10.1016/j.marpetgeo.2022.105968.
14. Sobornov K.O. Structure and evolution of the Terek-Caspian fold-and-thrust belt: new insights from regional seismic data. *Journal of Petroleum Geology*. 2021;44(3):259–286.
15. Alipour M., Petroleum systems of the Iranian Zagros Fold and Thrust Belt. *Results in Earth Sciences*. 2024;(20):100027. DOI: 10.1016/j.rines.2024.100027.
16. Tămas D.M., Schleder Z., Krézsek C., Man S., Filipescu S. Understanding salt in orogenic settings: The evolution of ideas in the Romanian Carpathians. *AAPG Bulletin*. 2018;102(6):941–958. DOI: 10.1306/0913171615517088.
17. Bishop R.S. Origins and habitats of supergiant fields: An Interpretation. *AAPG Bulletin*. 2023;107(8):1199–1256. DOI: 10.1306/05152321190.
18. Callot J.-P., Trocme V., Letouzey J., Albouy E., Jahani S., Sherkaty S. Pre-existing salt structures and the folding of the Zagros Mountains. *Salt Tectonics, Sediments and Prospectivity. Geological Society, London, Special Publications*. 2012;363(1):545–561. DOI: 10.1144/SP363.27.
19. Bally A.W. Sawyer D., Sinkewich A. Global tectonic and basin maps. Search and Discovery. 2020. Available at: https://www.searchanddiscovery.com/documents/2020/30444bally/ndx_bally.pdf (accessed).
20. Anischenko L.A., Visheratina N.P., Gudelman A.A., Danilov V.N. Geologicheskoe stroenie i perspektivy gazonosnosti zapadnogo sklona Polyarnogo i Pripolyarnogo Urala (po rezul'tatam geologo-razvedochnykh rabot) [The geological structure and gas prospects of the Western slope of the Polar and Subpolar Urals (as a result of geological exploration)]. In: V.N. Danilov, ed. St. Petersburg: VNIGRI; 2015. 264 p. In Russ.
21. Sobornov, K., Korotkov, I., Yakovlev, D., Kulikov, V., Kudriavtsev K. Backthrust play of the hernyshev swell, Timan-Pechora Basin: Reentry into a legacy exploration site based on multidisciplinary study. *Interpretation*. 2022;10(3):T531–T542. DOI: 10.1190/INT-2021-0203.1.
22. Shein V.S. Geology and petroleum potential of Russia [Geologiya i neftegazonosnost' Rossii]. Moscow: VNIGNI; 2012. 848 p. In Russ.
23. Sobornov K., Al'zhanov Kh. M. Structure and Petroleum Habitat of the Uralian Foreland Thrust Belt. In: EAGE-KazGeo 2010 Conference. Where Geoscience Meets the Silk Road: mat-ly mezhd. konf-ii. Almaty, Kazakhstan. 2010.
24. Migursky F.A., Yakupova E.M. New data on the geological anticlinal structures of the northern part of Pred-Verkhoyanskiy pericratonic foredeep. *Geologiya nefi i gaza*. 2017;(5):31–36. In Russ.
25. Migurskii F.A. Geodynamics of the Caledonian Baikal-Patom folded region and its influence on the petroleum potential of the Pre-Patom pericratonic trough. *Geologiya i mineral'nye resursy Sibiri*. 2022;(3):3–16. In Russ. DOI 10.20403/2078-0575-2022-3-3-16.
26. Shemin G.G., Vakhromeev A.G., Migurskii A.V. et al. Oil-and-gas prospects of regional reservoirs in Pre-Patom regional trough (Siberian Platform). Novosibirsk. SO RAN Publishing. 2017. 315 p. In Russ.
27. Sokolov B.A., Trofimuk A.A. Podnadvigovaya neftegazonosnost' platform — novoe napravlenie neftegazovoi geologii [Subthrust petroleum potential of platforms- new direction in the petroleum geology]. In: Teoreticheskie i regional'nye problemy geologii nefi i gaza: sb. nauch. tr. Novosibirsk : Nauka; 1991. pp. 116–124. In Russ.

28. Grizik A.Ya., Zabolotnaya Yu., I., Sadrdtdinov R.F., Vorozhbitskiy A.V. Perspectives of oil and gas production of the subthrust structure Shakhrinav (Republic of Tajikistan). *News of gas science*. 2014;3(19):70–76. In Russ.
29. Gaggala Ł., Ratschbacher L., Ringenbach J.-C., Kufner S.-K., Schurr B., Dedow R., et al. Tajik Basin and Southwestern Tian Shan, Northwestern India-Asia collision zone: 1. structure, kinematics, and salt tectonics in the Tajik fold-and-thrust belt of the Western Foreland of the Pamir. *Tectonics*. 2020;(39). Available at: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2019TC005871> (accessed). DOI: 10.1029/2019TC005871.
30. Yu Y., Tang L., Yang W., Huang T., Qiu N., Li W. Salt structures and hydrocarbon accumulations in the Tarim Basin, northwest China. *AAPG Bull.* 2014;98(1):135–159. DOI:10.1306/05301311156.
31. Danshikova I.I., Maydl T.V. Post-Sedimentation Transformations in Silurian Carbonate Rocks of the Central Part of the Chernyshev Ridge (Timan-Pechora Province). *Lithology and Mineral Resources*. 2023;(6):613–623. DOI: 10.31857/S0024497X23700246. In Russ.
32. Shann M.V., Vazquez-Reyes K., Ali H.M., Horbury A.D. The Sureste Super Basin of southern Mexico. *AAPG Bull.* 2020;(104):2643–2700. DOI: 10.1306/09172020081.

Информация об авторах

Соборнов Константин Олегович

Доктор геолого-минералогических наук,

главный научный сотрудник

ФГБУ Всероссийский научно-исследовательский геологический
нефтяной институт,

105118 Москва, ш. Энтузиастов, д. 36

e-mail: sobornov@vnigni.ru

ORCID ID: 0000-0002-9073-8492

Information about authors

Konstantin O. Sobornov

Doctor of Geological and Mineralogical Sciences,

Chief researcher

All-Russian Research

Geological Oil institute,

36, sh. Entuziastov, Moscow, 105118, Russia

e-mail: Sobornov@vnigni.ru

ORCID ID: 0000-0002-9073-8492