

## СТРУКТУРНЫЕ СТИЛИ НАДВИГОВЫХ ЗОН КРАЕВЫХ ПРОГИБОВ УРАЛА И ПАЙ-ХОЯ

© 2023 г. К. О. Соборнов\*

ООО Северо-Уральская нефтегазовая компания, д. 6, Фурманский пер., 105000 Москва, Россия

\*e-mail: Ksoborbov@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.02.2023 г.

После доработки 07.04.2023 г.

Принята к публикации 16.04.2023 г.

В статье приведена интерпретация геофизических данных, характеризующих строение зоны предгорной складчатости Урала и Пай-Хоя, которая показывает многообразие структурных стилей деформаций региона исследования. Рассмотрены следующие структурные стили деформаций – надвиговые зоны классического стиля, представляющие собой чешуйчатые системы надвиговых пластин, последовательно перекрывающие друг друга и прилегающую часть краевого прогиба (i); области распространения клиновидных аллохтонов, сложенные дуплексными тектоническими пластинами, не имеющими отражения в приповерхностных слоях (ii); зоны инверсии, где сбросы связанные с уральским рифтингом, трансформированы в надвиги (iii); районы, строение которых определяется деформациями соляных диапиров и экструзией соли (iv); зоны, тектонического утолщения докембрийских комплексов, перекрытых палеозойским чехлом (v). Интерпретация исторических и новых данных о строении складчатых поясов позволяет существенно уточнить представления о строении и развитии районов таких, как зоны клиновидных вдвигов, области развития дислоцированных соляных диапиров и районы, где происходили реактивация и тектоническое утолщение докембрийских комплексов за счет реактивации разломов древнего заложения. Новые сейсмические данные позволяют уточнить амплитуду складчато-надвиговых дислокаций и время фаз деформаций. Они впервые показали наличие зон развития эмбриональных надвигов.

*Ключевые слова:* Урал, Предуральский прогиб, Пай-Хой, складчато-надвиговой пояс, структурная расслоенность, соляные диапиры, структурная инверсия, сейсморазведка

**DOI:** 10.31857/S0016853X23030086, **EDN:** XMZCEF

### ВВЕДЕНИЕ

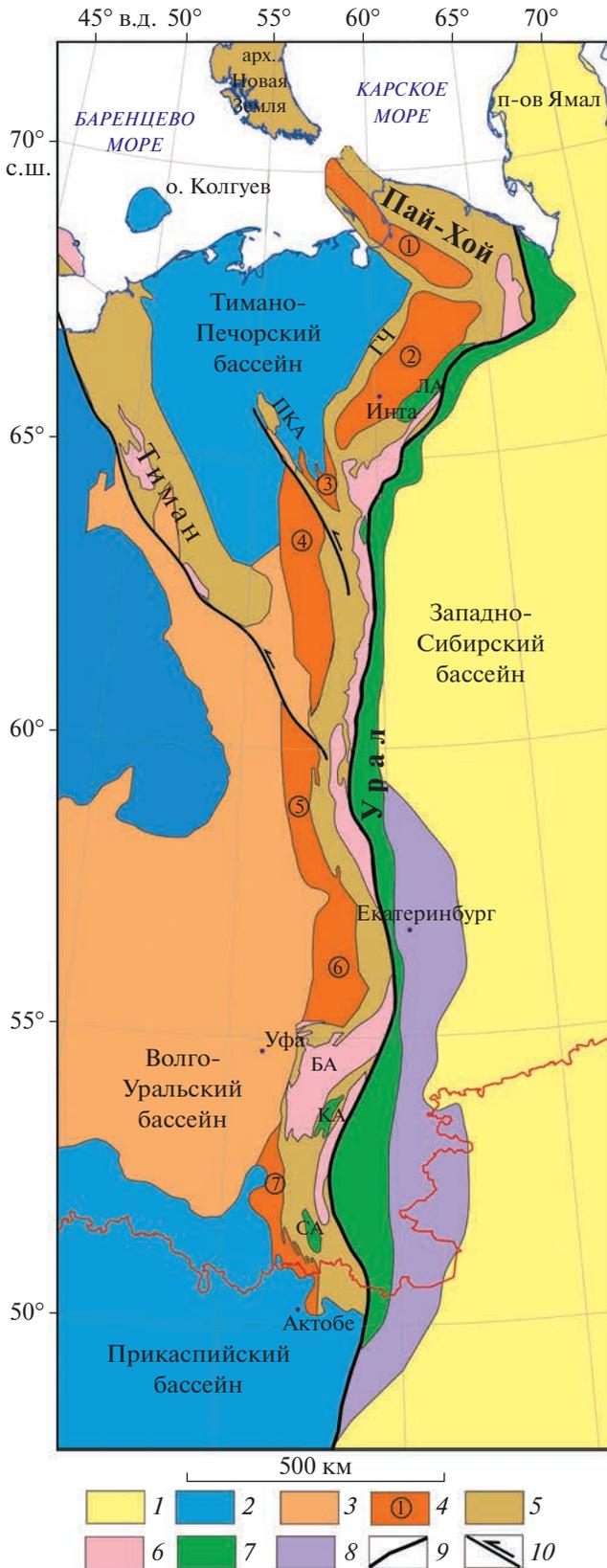
Изучение геологии Урала и Предуралья имеет длительную историю. Во многом это связано с проведением геолого-разведочных работ на нефть и газ. Эти работы последовали за открытием нефтяной залежи в Пермском Предуралье в 1929 г. В течение последующих десятилетий поиски нефти и газа охватили обширные районы складчатых предгорий Урала и Пай-Хоя, а также прилегающих районов Волго-Уральского и Тимано-Печорского бассейнов. В результате этих работ накоплен большой объем геолого-геофизических данных, которые позволяют охарактеризовать различные аспекты геологии этих регионов, включая структурные стили складчато-надвиговых деформаций [1–6, 9–17, 23–26, 29, 34, 35, 43, 46, 55].

Особую ценность для изучения строения этих регионов представляют сейсмические данные, полученные с применением новых методов полевых работ и обработки данных. Они дают много новой геологической информации, характеризую-

ющей глубинное строение рассматриваемых регионов. Интерпретация данных позволяет оценить амплитуду складчато-надвиговых деформаций, определить последовательность их развития, выделить структурные стили деформаций.

В данной статье проведено уточнение строения зон клиновидных структур, определение области развития дислоцированных соляных диапиров и районов с тектоническим утолщением докембрийских комплексов, которые сформировались в результате реактивации разломов древнего заложения. Эти данные дополняют представления о строении складчато-надвиговых зон краевых прогибов Урала и Пай-Хоя. Они могут позволить по-новому определить приоритеты геолого-разведочных работ на различные виды полезных ископаемых, включая нефть и газ.

Целью статьи является рассмотрение элементов строения надвиговых зон краевых прогибов Урала и Пай-Хоя, которые выделены на основе интерпретации современных геолого-геофизиче-



ских данных с использованием мирового опыта изучения районов аналогичного строения.

## ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

Регион исследования расположен в области сочленения Восточно-Европейской платформы и Печорской плиты со складчатыми сооружениями Урала и Пай-Хоя (рис. 1).

Урал представляет собой дивергентный складчато-надвиговый пояс, образование которого связано с континентальной коллизией в конце палеозоя. Складчато-надвиговый пояс Урала разделяется на континентальный и океанический секторы. Континентальный сектор представляет собой дислоцированную окраину Восточно-Европейской платформы со спаявшейся с ней в позднем докембрии Печорской плитой [6, 16, 24, 35]. Породы континентального сектора образуют протяженный надвиговый пояс, перекрывающий восточный край платформы [9, 10, 16, 24]. В составе аллохтонных комплексов участвуют как осадочные толщи, так и породы фундамента. Они объединяются в Западно-Уральскую зону, которая на западе граничит с цепочкой впадин Предуральского краевого прогиба, которые заполнены преимущественно пермскими синорогенными осадочными породами, перекрывающими отложения континентальной окраины.

Расположенный восточнее океанический сектор объединяет систему островных дуг и формирует Магнитогорско-Тагильскую зону, а также коллаж микроконтинентов и экзотических террейнов, который входит в Восточно-Уральскую зону. Океанический сектор Урала включает поро-

**Рис. 1.** Схема основных структурных элементов Урала и Пай-Хоя с прилегающими бассейнами (по данным [13, 16, 28, 51], с изменениями и дополнениями). Структурные элементы: ГЧ – гряда Чернышева; ЛА – Лемвинский аллохтон; ПКА – Печоро-Колвинский авлакоген; ПК – поднятие Каратау; БА – Башкирский антиклинорий; КА – Кракинский аллохтон; ПУ – Поднятие Уралтау; СА – Сакмарский аллохтон. Впадины краевого прогиба Урала и Пай-Хоя (цифры в кружках): 1 – Кортаихинская; 2 – Косью-Роговская; 3 – Большесынинская; 4 – Верхнепечорская; 5 – Соликамская; 6 – Юрюзано-Сылвенская; 7 – Бельско-Мраковская. 1 – юрско-кайнозойский чехол Зауралья; 2 – триас-кайнозойский чехол Восточно-Европейской платформы и Прикаспия; 3 – пермские отложения Предуралья; 4 – Предуральские краевые прогибы; 5–6 – отложения; 5 – палеозойские (континентальной окраины), 6 – докембрийские; 7 – палеозойские океанические породы; 8 – коллаж островных дуг и микроконтинентов, гранитные батолиты; 9 – Главный Уральский разлом; 10 – сдвиги с указанием направления перемещения

ды различной степени метаморфизации и пронизан многочисленными интрузиями.

Границей континентального и океанического секторов Урала является Главный Уральский разлом (ГУР). На коллизионном этапе этот разлом представляет собой протяженный надвиг. На поздней стадии своего развития он локально был реактивирован как сброс, что, возможно, обусловлено отрывом субдуцированной литосферы [46].

В ряде районов Урала породы океанического происхождения залегают к западу от Главного Уральского разлома. Они образуют останцы аллохтонных пластин, шарьированных на континентальную окраину. К таким структурам относятся Лемвинский, Кракинский и Сакмарский аллохтоны [6, 16, 26].

Коллизия литосферных плит вызвала обширные деформации структур океанического сектора Урала и прилегающей континентальной окраины. Сжатие сопровождалось крупными сдвиговыми деформациями. Вероятно, что наибольшим распространением обладают продольные и косые левосторонние сдвиги. Они выделяются в пределах Урала и Предуралья. В частности, значительную сдвиговую компоненту имеет Печоро-Колвинский авлакоген, секущий Печорскую плиту. Структурный анализ деформаций выявил сдвиговую природу многих разломов по данным распределения фациальных зон и палеомагнитным данным [6, 7, 14].

Урал и Предуралье развивались на протяжении двух полных циклов формирования бассейнов континентальной окраины, которые завершились континентальными коллизиями.

Первый цикл начался в рифее и завершился в венде. В рифее в Мезенском и Волго-Уральском бассейнах накопились многокилометровые осадочные толщи континентальной окраины [2, 16, 17, 21]. Первый цикл завершился образованием протяженного складчатого пояса, который был эродирован в венде. Позднекембрийская тиманская складчатость включала причленение Печорской плиты к Европейской платформе с образованием Тиманского кряжа.

Второй цикл – Уральский – начался в позднем кембрии – раннем ордовике с образованием Уральского палеоокеана [6, 16, 24]. Океанический рифтинг привел к образованию нового палеозойского бассейна континентальной окраины. Его последующее развитие определялось термическим погружением литосферы и взаимодействием континентальной окраины с островными дугами и микроконтинентами.

На Южном и Центральном Урале океаническая кора была субдуцирована в среднем карбоне [6, 16].

На Северном Урале этот процесс, вероятно, завершился в перми, что согласуется палеомагнитными данными [7, 8].

За этим последовала континентальная коллизия, которая достигла кульминации в поздней перми. В триасе Уральское складчатое сооружение пережило растяжение, что привело к зарождению в его внутренней части Западносибирского бассейна [6, 24].

В конце триасового периода на севере Предуралья произошла пайхойская складчатость, которая, вероятно, явилась результатом столкновения Южнокарской плиты с окраиной Печорской плиты [56]. В зоне коллизии этих плит возникло складчатое сооружение Пай-Хоя. В бортовых частях Южнокарской плиты в это время происходили сдвиговые деформации. Они выделяются вдоль Новой Земли и в северной части Западносибирского бассейна. Приведена схематическая реконструкция взаимодействующих литосферных плит в позднем триасе (рис. 2).

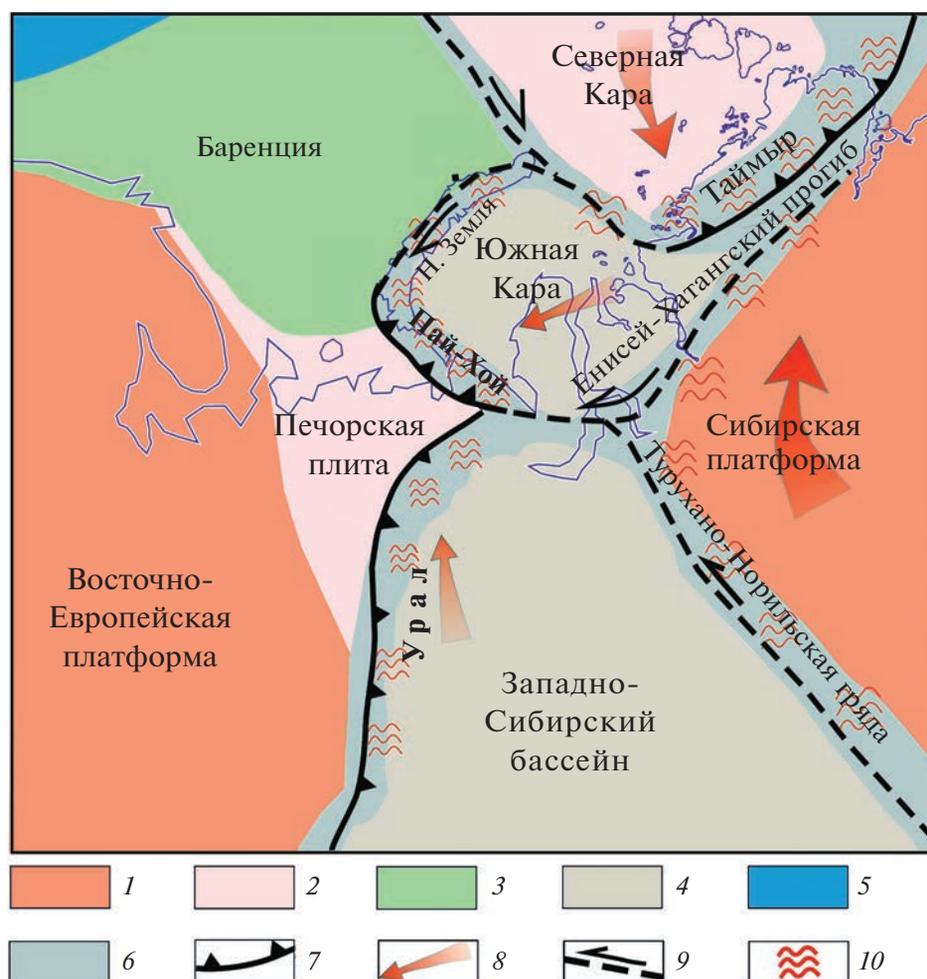
Современным аналогом этой плитотектонической конфигурации является перемещение Анатолийской плиты на юго-запад из зоны столкновения Евразии и Аравийской плит [27].

Наложение пайхойских деформаций на уральские структуры создало ортогональный излом складчатого обрамления Восточно-Европейской платформы с прилегающим складчатым сооружением Пай-Хоя. Последующие юрско-кайнозойские деформации в Уральском регионе явились следствием тектонических событий на периферии Евразии и проявлений плюмового магматизма [16, 51].

Строение складчатого обрамления Восточно-Европейской платформы (ВВП) в зоне сочленения Урала и Пай-Хоя показывает ярко выраженную структурную сегментированность Восточно-Европейской платформы, которая проявляется в изменениях структурных стилей деформаций и ширине зоны распространения складчатости. Серия схематических геологических разрезов показывает различия структурных стилей (рис. 3).

Разрезы составлены на основе интерпретации мультисциплинарных геолого-геофизических данных [1–6, 9–17, 23–26, 34, 35]. Для корректного отображения структурных различий рассматриваемых частей складчато-надвиговых зон профили составлены в равных вертикальных и горизонтальных масштабах.

Сопоставление структурных стилей складчато-надвиговых зон региона исследования показывает большие различия между складчатыми предгорьями в пределах Тимано-Печорского и Волго-Уральского бассейнов. Сравнение наблю-



**Рис. 2.** Геодинамическая схема Северной Евразии для позднего триаса (по [62], с дополнениями). Показаны складчато-надвиговые деформации на севере Предуралья, вызванные перемещениями Южнокарской плиты, их зоны конвергенции Сибирской платформы и Северокарской плиты. 1–5 – кора: 1 – архейско–раннепротерозойская, 2 – позднепротерозойская, 3 – затронутая каледонской складчатостью, 4 – позднепалеозойская, 5 – океаническая; 6 – складчатые пояса; 7 – направление надвиговых перемещений; 8 – вектор перемещения плиты; 9–10 – зоны: 9 – транспрессии, 10 – реактивации складчатости

даемых различий показывает, что они определяются совокупностью факторов, основными из которых являются:

- реологическая неоднородность осадочного чехла и фундамента, выражающаяся в чередовании пластичных и компетентных интервалов разреза, которые различным образом реагируют на тектонический стресс;

- геодинамические условия структурного развития, которые определяли морфологию деформаций.

В пределах складчатого борта Тимано-Печорского бассейна осадочный чехол образован мощной толщей ордовикско–пермских отложений. В северо-восточной части бассейна широко распространены соли верхнего ордовика, которые оказали существенное влияние на структурный

стиль складчато-надвиговых деформаций [3, 18, 19]. Кристаллический фундамент в районе Тимано-Печорского бассейна представлен докембрийскими метаморфическими породами Печорской плиты [16, 24, 26]. В центральном и южном сегментах Предуралья палеозойский осадочный чехол на большей части территории лишен нижних горизонтов и начинается только со среднедевонских отложений. Здесь к осадочному чехлу относится мощная толща рифей–вендских отложений, а фундамент образован архей–нижнепротерозойскими породами Восточно-Европейской платформы [2, 16, 24].

Диахронность тектонических событий в пределах Уральской континентальной окраины, обусловленная косым характером коллизии с островными дугами и континентальными террейнами, а

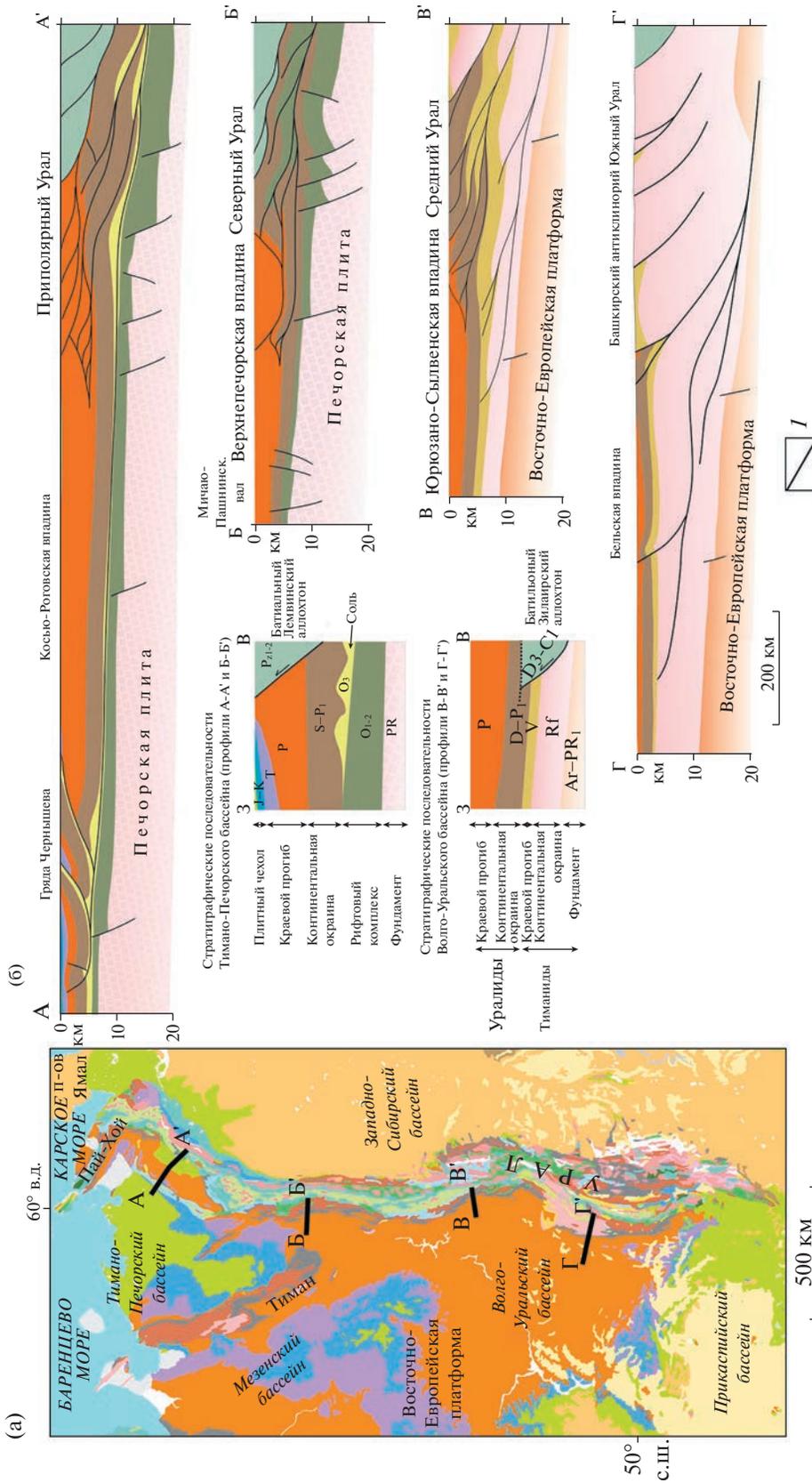


Рис. 3. Серия схематических геологических разрезов, иллюстрирующих вариации структурных стили деформаций складчато-надвиговых зон Урала и Пай-Хоя. (а) — геологическая карта региона исследования (цветовая гамма соответствует Международной стратиграфической шкале); (б) — схематические разрезы складчато-надвиговых зон Приуралья. Обозначены основные стратиграфические последовательности востока Тимано-Печорского и Волго-Уральского бассейнов: AR-PR<sub>1</sub> — архей-нижний протерозой; Rf — рифей; V — венд; O<sub>1-2</sub> — нижний-средний ордовик; O<sub>3</sub> — верхний ордовик; Pz<sub>1</sub> — нижний палеозой; S-P<sub>1</sub> — силур-нижняя пермь; D-P<sub>1</sub> — девон-нижняя пермь; D<sub>3</sub>-C<sub>1</sub> — верхний девон-турне; P — пермь; T — триас; J-K — юра-мел. / — разлом

также вращательные движения взаимодействующих плит, способствовали изменениям в величине, последовательности и структурном стиле деформаций в зоне предгорной складчатости Урала и Пай-Хоя [6, 7, 16, 26]. Дополнительным элементом, определяющим своеобразие структурных стилей деформаций на северо-востоке Тимано-Печорского бассейна, явилась пайхойская складчатость [23, 31, 62].

Максимальное распространение складчато-надвиговых деформаций отмечается в северной части Предуралья в Косью-Роговской впадине и прилегающих складчатых зонах Приполярного Урала и гряды Чернышева (см. рис. 3). Вероятно, этому способствовало наличие в осадочном чехле солей, по которым произошло расслоение осадочного чехла, а также преимущественное северо-восточное (в современных координатах) перемещение коллажа островных дуги микроконтинентов вдоль окраины Восточно-Европейской платформы, что привело к сосредоточению сжатия в этом районе [6, 15, 24, 55].

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основным примененным автором методом исследования строения зон предгорной складчатости Урала и Пай-Хоя являлась интерпретация сейсмических данных, в которые входили региональные сейсмические профили и съемки 3D (см. рис. 3).

Эти данные с наибольшей полнотой характеризуют строение зон сложного геологического строения. Значительная часть использованных региональных сейсмических данных была получена в рамках государственных заказов компаниями ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» (г. Оренбург, Россия), ОАО «Башнефтегеофизика» (г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия), ОАО «Баженовская геофизическая экспедиция» (г. Заречный, Свердловская обл., Россия), АО «Севморгеофизика» ((СМНГ), г. Мурманск, Россия) и другими организациями. Кроме этого были использованы данные 3D, полученные ОАО «Башнефтегеофизика», ООО «Северо-Уральской нефтегазовая компания» (г. Ухта, Россия) [2–5, 22, 26, 27, 49].

Часть сейсмических данных была переобработана с использованием современного программного обеспечения для повышения геологической информативности. Помимо сейсморазведки для исследования складчатых зон рассматриваемого региона использовались профили магнитотеллурического зондирования (МТЗ), выполненные ООО «Северо-Запад» (г. Москва, Россия) по заказу ООО «Северо-Уральская нефтегазовая компания» (г. Ухта, Россия).

Основным методом интерпретации данных являлось выделение сейсмических последовательностей в осадочном чехле и анализ их взаимоотношений. С этой целью проводилась фазовая корреляция и анализ несогласий. Для пород фундамента, как правило, лишённых выраженной сейсмической слоистости, выделялись зоны группирования высокоамплитудных отражений [21, 43]. Конфигурация этих отражений позволяла выявлять зоны вероятных нарушений.

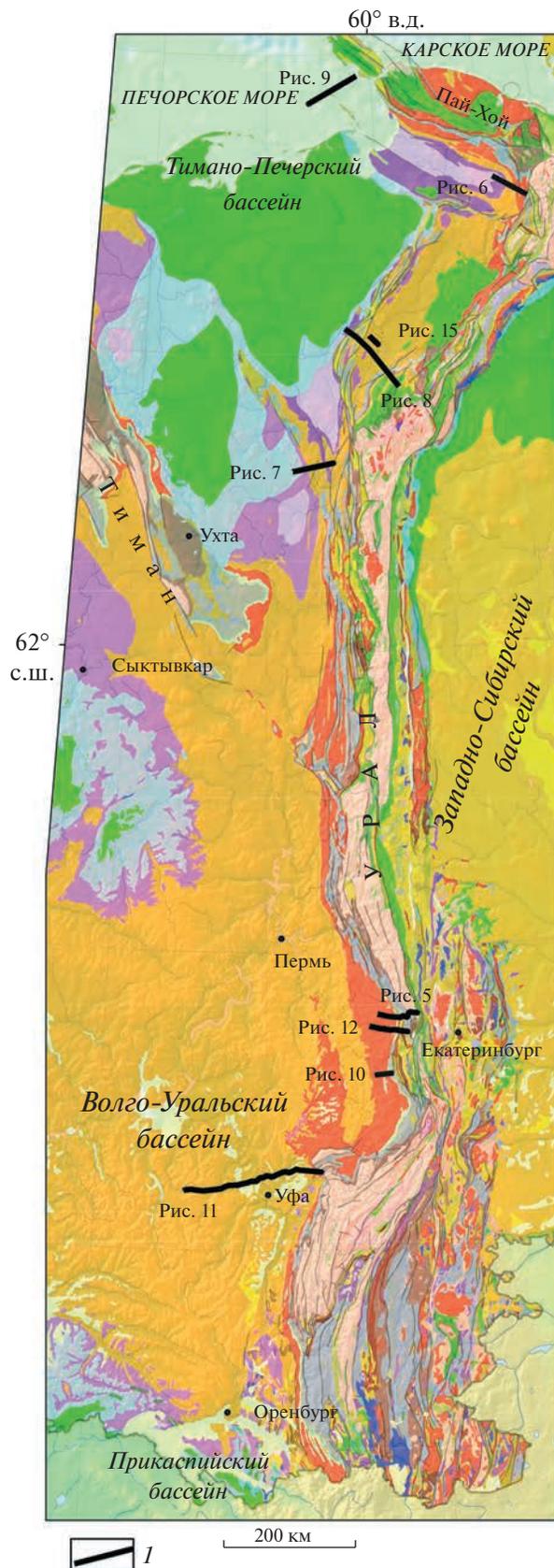
В условиях неопределенности для составления предпочтительной геологической модели рассматривались данные сейсмических профилей, расположенных в прилегающих районах. При наличии скважин, сейсмические данные увязывались с результатами бурения. Кроме этого, использовались геологические карты, палеофациальные схемы и материалы изучения потенциальных геофизических полей [1, 13, 17]. Данные о метаморфизме пород позволяли оценить величину их экзгумации, что учитывалось при структурных построениях [1–10, 16, 22, 28, 29, 34, 43, 46]. Кроме этого, широко использовались данные изучения складчатых поясов сходного строения и моделирования деформаций в складчатых поясах [27, 44, 48, 50, 52, 53, 57–61].

Наша интерпретация касается как особенностей строения различных частей складчато-надвиговой структуре зон предгорной складчатости Урала и Пай-Хоя, так и сейсмического выражения деформаций, которые могут наблюдаться в разных зонах.

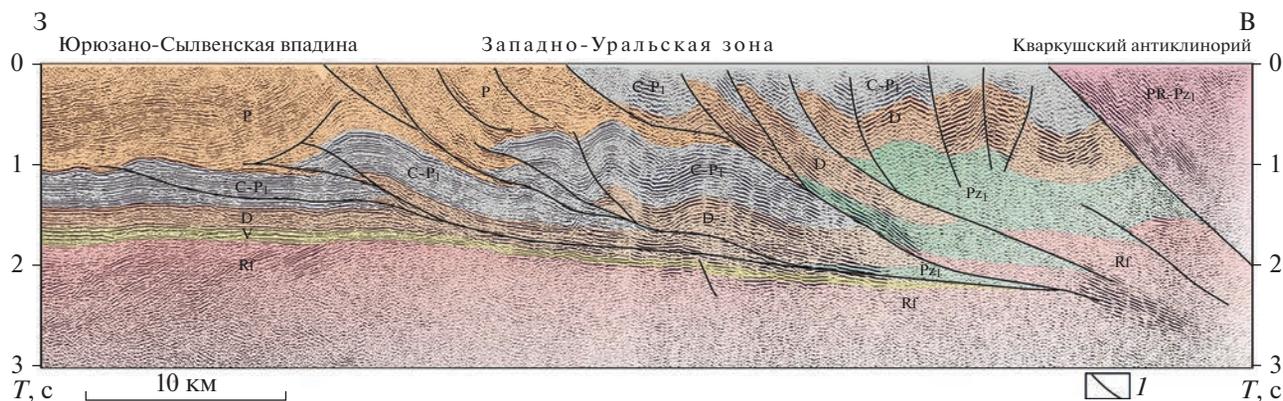
## ВЕЛИЧИНА НАДВИГОВЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

Сейсмические данные позволяют дать оценку величине надвиговых перекрытий в пределах складчато-надвигового пояса Урала. Автором приведен интерпретированный сейсмический разрез зоны сочленения Юрюзано-Сылвенской впадины и Среднего Урала (рис. 5).

Он демонстрирует классический тонкочешуйчатый стиль надвиговых деформаций. В пределах складчатого борта этой впадины и в Западно-Уральской зоне выделяется система тектонических пластин, образованная палеозойскими отложениями уральской континентальной окраины, надвинутыми на Восточно-Европейскую платформу. К фронтальным частям надвиговых пластин приурочены высокоамплитудные антиклинальные складки. Они сформированы девонско-нижнепермскими отложениями. Восточнее появляются дислоцированные нижнепалеозойские отложения, которые отсутствуют в его внешней зоне. В этой части надвигового пояса толщина тектонических пластин увеличивается, при



**Рис. 4.** Геологическая карта Урала и прилегающих бассейнов (с использованием данных [62]). Показано положение разрезов.



**Рис. 5.** Интерпретированный фрагмент Шалинского сейсмического профиля, пересекающего зону сочленения Юрюзано-Сылвенской впадины и складчато-надвиговых зон Среднего Урала. Положение разреза – см. рис. 4. *I* – разлом

этом возрастает их дислоцированность. В восточной части профиля прослеживается надвиговое сочленение осадочного чехла и Кваркушского антиклинория, образованного метаморфическими породами докембрия.

В передовой части надвигового пояса по данным сейсмической интерпретации выделяется вдвиговая структура. Она образована надвигами встречного падения, которые сливаются перед ее фронтом. Взаимосвязанные надвиги ограничивают пластину, сформированную верхнедевонско–нижнепермскими карбонатными отложениями. Эта пластина расщепляет разрез краевого прогиба в основании преимущественно глинистых артинских отложений.

Представленный разрез показывает, что в этом районе Предуралья Восточно-Европейская платформа продолжается не менее чем на 40 км под покровом аллохтонных тектонических пластин. Величина совокупного поперечного сокращения протяженности слоев осадочного чехла и фундамента окраины платформы в данном районе может достигать 100 км. Оценка величины сокращения протяженности слоев в пределах Полярного Урала и Пай-Хоя дает большие значения – до 300–350 км. Эти величины получены на основе структурных реконструкций и палеомагнитных исследований [7, 8].

#### СТРУКТУРНЫЕ СТИЛИ СЕВЕРО-ВОСТОКА ТИМАНО-ПЕЧОРСКОГО БАСЕЙНА

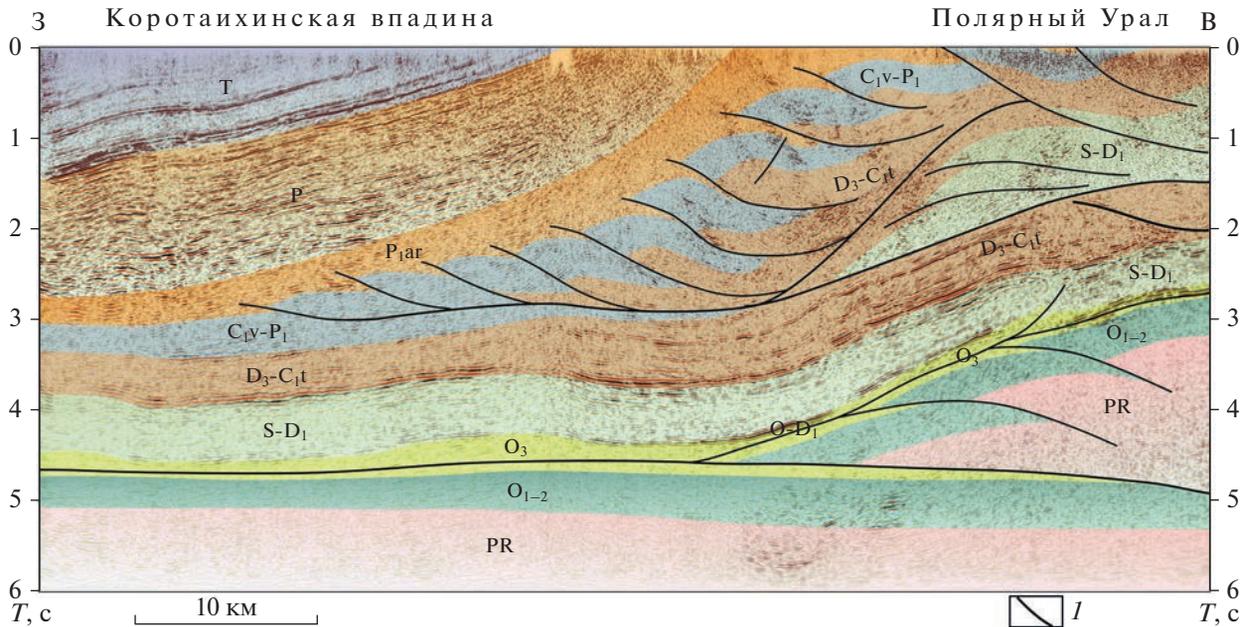
Новые сейсмические данные позволяют детализировать структурные построения и охарактеризовать структурные стили деформаций. Особенно представительны в этом отношении данные по северо-востоку Тимано-Печорского бассейна.

Приведен сейсмический профиль, отражающий структурный стиль деформаций, который характерен для ряда районов северного Предуралья (рис. 6).

Аналогичные структуры выделяются также в пределах зоны сочленения Урала со Мраковской впадиной и Прикаспийским бассейном на юге Предуралья. Специфической чертой строения этих районов является тектоническая расслоенность чехла и дуплексная складчатость, создающие дисгармоничную многоярусную клиновидную структуру.

Крупный дуплексный клин расщепляет осадочный чехол краевого прогиба на уровне глинистых нижнепермских отложений. Аллохтонный комплекс образован верхнедевонско–нижнепермскими и, предположительно, силурийско–нижнедевонскими отложениями. Вдвиговая морфология этого аллохтонного комплекса объясняет моноклиналиное воздымание перекрывающих пермских и триасовых толщ, в которых отсутствуют существенные синколлизионные несогласия. Отсутствие в верхней части разреза синколлизионных несогласий свидетельствует о пассивном воздымании пермско–триасовых толщ над выделяемым клиновидным аллохтоном.

Аллохтонные отложения тектонического клина образуют многоярусную тонкочешуйчатую систему пластин. Их структурное выражение напоминает широко известные аккреционные призмы зон субдукции, для которых характерно тонкочешуйчатое тектоническое телескопирование [48]. На суше подобные образования по сейсмическим данным выделяются реже, что, вероятно, связано со сложными сейсмогеологическими условиями, характерными для предгорных



**Рис. 6.** Интерпретированный сейсмический разрез зоны сочленения Кортаихинской впадины и Полярного Урала. Положение разреза – см. рис. 4. I – разлом

складчатых поясов. Тем не менее, примеры этого структурного стиля деформаций установлены в ряде регионов мира [37, 41, 50, 60].

В восточной части профиля под соленосными отложениями верхнего ордовика интерпретируется аллохтонный клин, сложенный породами фундамента и нижнего-среднего ордовика. Существование этой надвиговой структуры объясняет складчатую деформацию вышележащих надвиговых пластин. Вероятно, что разлом в основании нижнего аллохтонного комплекса к западу переходит в пластовой срыв в верхне-ордовикских эвапоритах [18, 26].

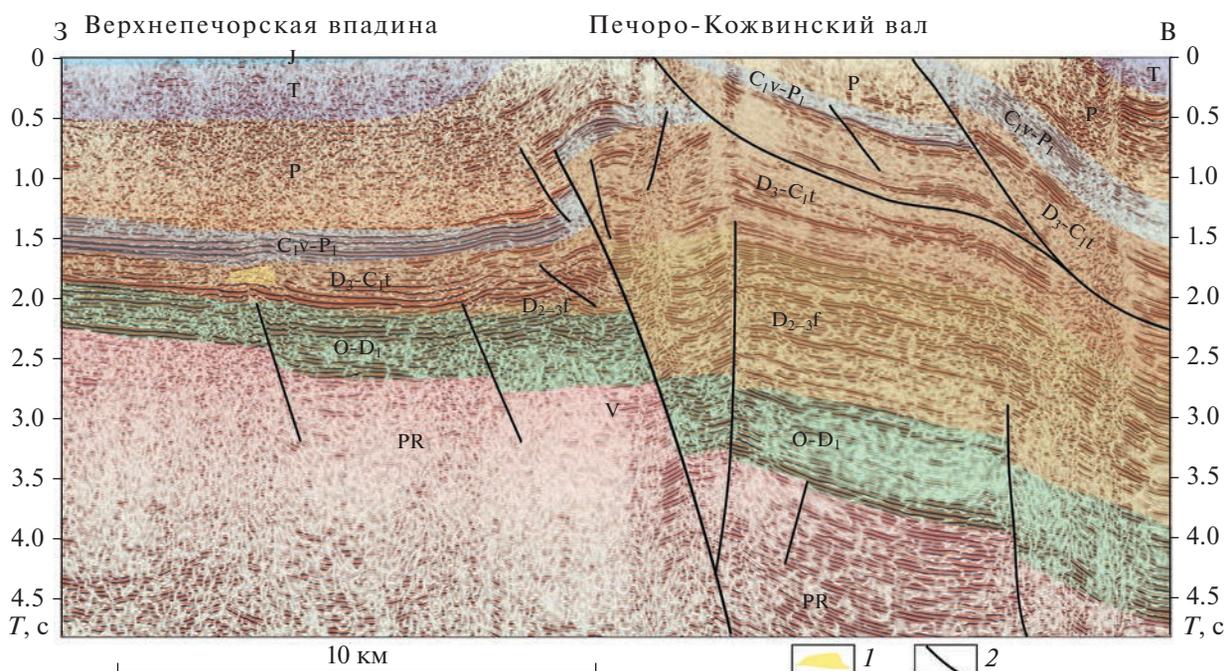
Приведен сейсмический разрез, который иллюстрирует сочетание структурной инверсии и тонкочешуйчатых надвигов (рис. 7).

Данный разрез пересекает Западно-Соплеское нефтяное месторождение. Это месторождение расположено в пределах южной части Печоро-Кожвинского вала, который образует бортовую зону Печоро-Колвинского авлакогена (рифта). Резкое увеличение толщины и фациальная изменчивость средне-верхнедевонских отложений в зоне этого вала подтверждается данными сейсморазведки и бурения [1] (см. рис. 7). В разрезе этих отложений широко распространены диабазовые интрузии. Увеличение толщины средне-верхнедевонских отложений связывается с эпизодом растяжения, которое, вероятно, имело задуговую природу.

Интерпретация сейсмических данных показывает, что в среднем–позднем девоне здесь существовал крупный сброс, ограничивающий Печоро-Колвинский рифт. Начиная с визейского века, этот разлом испытывал структурную инверсию, которая привела к образованию Печоро-Кожвинского вала. На инверсионную структуру накладываются тонкочешуйчатые надвиговые деформации тектонических пластин Урала. В их составе участвуют верхнедевонско–пермские отложения. Сочетание глубинной инверсионной структуры и надвигов в верхней части разреза образует своеобразную дисгармоничную складчатую структуру.

#### ДИСЛОЦИРОВАННЫЕ СОЛИ

Значительным своеобразием отличаются зоны складчато-надвиговых деформаций, в строении которых важная роль принадлежит эвапоритам верхнего ордовика. Эти структуры распространены в северо-восточной части Тимано-Печорского бассейна [3, 5, 18, 19, 56]. Обнаружение верхнеордовикских солей в осадочном чехле было неожиданным открытием. Дело в том, что геологической съемкой эти соли ранее не были установлены. По-видимому, это связано с низкой обнаженностью этого региона и растворимостью солей в условиях переувлажненного климата. Впервые существование верхнеордовикских солей было установлено бурением на куполе Кочмес в Косью-Роговской впадине в 1976 г. [3, 5].



**Рис. 7.** Интерпретированный сейсмический разрез зоны сочленения Верхнепечорской впадины и Печоро-Кожвинского вала.

Положение разреза см. на рис. 4.

1 – риф; 2 – разлом

Сейсмические исследования и бурение в последующие годы показали, что эти соли представляют собой не локальный феномен, а имеют значительное распространение и важное структурообразующее значение. В частности, на гряде Чернышева с ними связаны многокилометровые надвиговые деформации [3, 5, 18, 19].

В настоящее время дислоцированные аллохтонные соли гряды Чернышева вскрыты рядом глубоких скважин. В образцах керна эти интервалы представлены соляным меланжем, который содержит обильные включения брекчированных карбонатов [3, 5]. Они выделяются также по данным комплексной интерпретации геофизических данных, включающих сейсморазведку, магнитотеллурическое зондирование (МТЗ) и моделирование данных гравиметрии [19] (рис. 8).

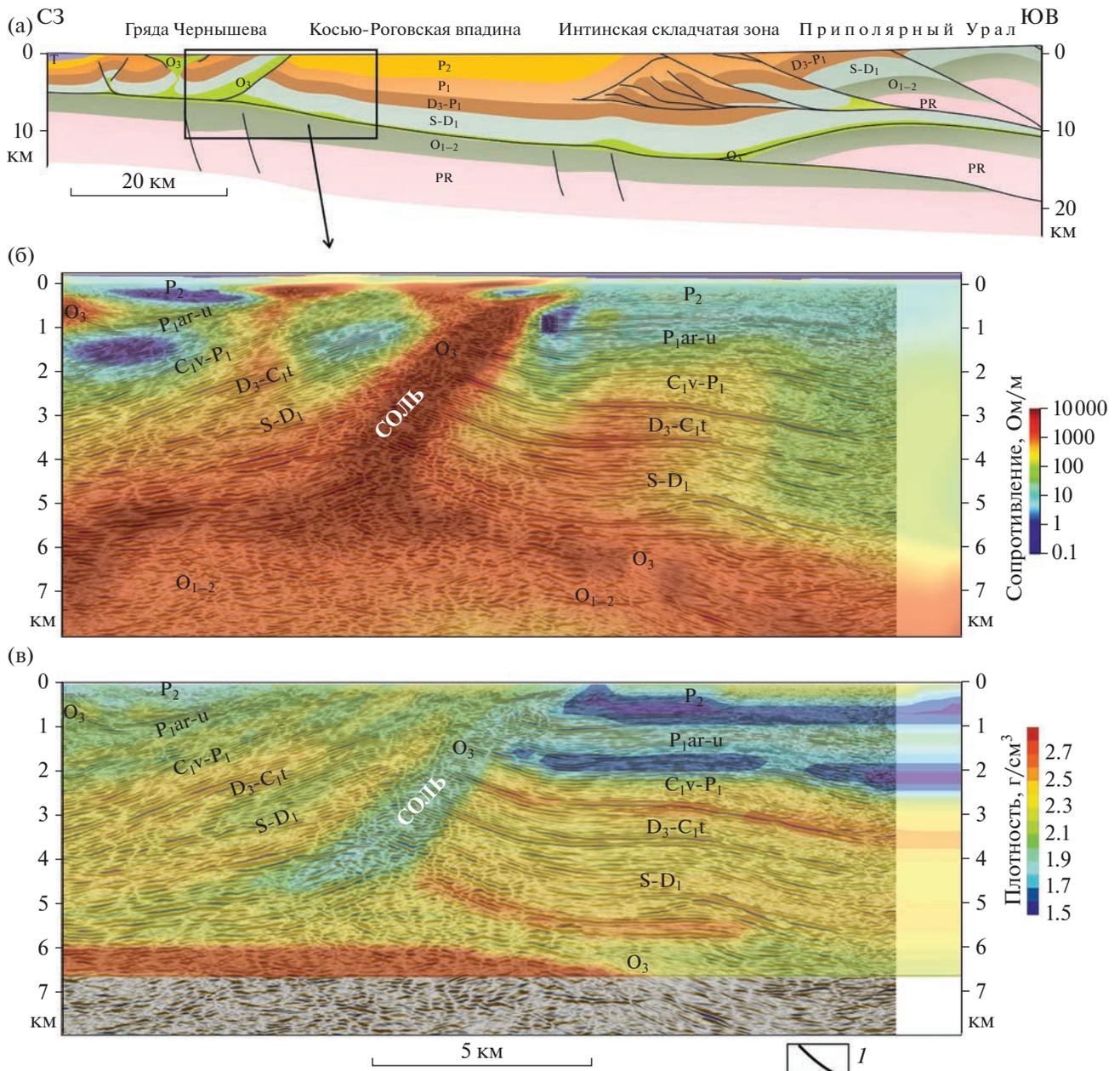
Комплексная интерпретация этих геофизических данных свидетельствует об участии толщи дислоцированных солей в надвигании фронта гряды Чернышева на Косью-Роговскую впадину. Надвиг в этой зоне имеет антиуральскую вергентность.

В предлагаемой интерпретации рассматриваемый разлом представляет собой кровельный надвиг вдвиговой структуры, которая расщепляет осадочный чехол вдоль верхнеордовикских солей.

По-иному выглядят зоны соляных деформаций в северной, акваториальной части Тимано-Печорского бассейна. Здесь деформированные соли определяют структурный стиль деформаций внешней периферической части севера Коротайхинской впадины [56] (рис. 9).

Интерпретация данных сейсморазведки свидетельствует о том, что в этом районе соли образуют разнообразные диапировые структуры, среди которых наиболее крупные имеют вид грибовидных диапиров (см. рис. 9). Они имеют тонкую ножку высотой до 10 км, которая пронизывает палеозойский осадочный чехол. В верхней части разреза выделяются аллохтонные покровы и глетчеры, образованные солями. Такие структуры характерны для зон образования раздавленных диапиров, из которых соль выжималась в вышележащие слои и на поверхность. Они установлены во многих регионах мира [29–33, 48–40, 42, 49, 54, 57–58].

Соляной диапир пронзает силурийско-триасовые слои и несогласно перекрывается юрскими слоями (см. рис. 9). Это позволяет утверждать, что основной этап деформаций в этом районе произошел в конце триаса–начале юры во время складчатости на Пай-Хое. При этом самый крупный грибовидный диапир деформирует предюрское эрозионное несогласие (см. рис. 9).



**Рис. 8.** Строение Косью-Роговской впадины и гряды Чернышева.

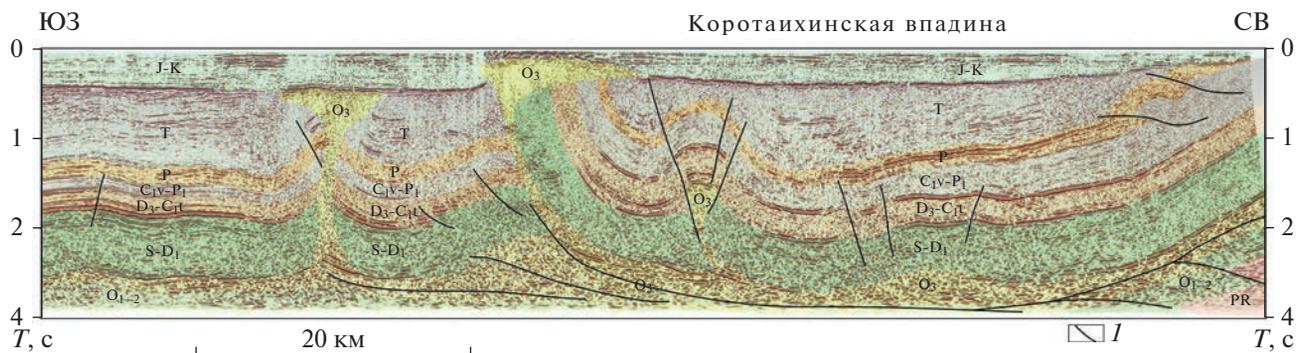
(а) – региональный геологический разрез южной части Косью-Роговской впадины и прилегающих складчатых зон. Рамкой на разрезе обозначен участок, показанный на разрезах Б–Б' и В–В' (по [24], с дополнениями). (б) – сейсмический разрез зоны сочленения гряды Чернышева и Косью-Роговской впадины совмещенный с данными МТЗ. (в) – тот же сейсмический разрез с наложением результатов моделирования данных гравиметрической съемки. Положение разреза – см. рис. 4.

Это указывает на локальное продолжение диапиризма после завершения коллизионной складчатости.

В пользу этого утверждения свидетельствует то, что выделяемые диапировые структуры имеют геоморфологическое выражение. С надсолевыми поднятиями в этой зоне связаны острова в Печорском море, самым крупным из которых является остров Долгий. Учитывая позднекай-

нозойскую ледниковую пенепленизацию и геоморфологическую выраженность выделяемых диапировых структур, полагаем, что диапиризм солей на северо-востоке Тимано-Печорского бассейна продолжается в новейшей геологической истории [19].

Сопоставление морфологии деформаций гряды Чернышева и Кортаихинской впадины показывает существенные различия. В первом случае



**Рис. 9.** Интерпретированный сейсмический разрез Кортаихинской впадины и прилегающих складчато-надвиговых зон. Положение разреза – см. рис. 4. I – разлом

интенсивно дислоцированные соли участвуют в строении надвиговой зоны, которая имеет антиуральскую вергенцию (см. рис. 8). Эта структура рассматривается как результат расслоения осадочного чехла и вклинивания аллохтонного надсолевого чехла Косью-Роговской впадины в массу солей, которая возникла в этом районе до коллизионной складчатости [21]. Во втором случае они образуют относительно симметричные грибовидные диапиры (см. рис. 9).

Эти различия в морфологии дислоцированных диапиров определяются комбинацией двух основных факторов:

- величиной сжатия;
- региональный уклон залегания осадочного чехла в зоне развития диапиров.

На гряде Чернышева величина сжатия была больше, на что указывает крупное надвиговое перекрытие. Кроме этого, в прилегающей Косью-Роговской впадине региональный уклон подсолевого ложа значителен, в то время как на севере Кортаихинской впадины он невелик (см. рис. 8; см. рис. 9). Вероятно, что это могло способствовать преимущественному перемещению солей гряды Чернышева в прилегающую впадину с образованием антиуральских покровов.

Из-за небольшого регионального уклона подсолевого ложа на севере Кортаихинской впадины выжимаемая соль распространялась симметрично, образуя дивергентные грибовидные структуры.

Выявление структурной роли соли имеет существенное значение для интерпретации бассейнового развития и структурных построений. Подвижность соли должна учитываться при балансировании геологических разрезов, т.к. ее мобильность и растворимость в поверхностных условиях могут искажать баланс объема дислоцируемых пород. Кроме этого, продолжительный

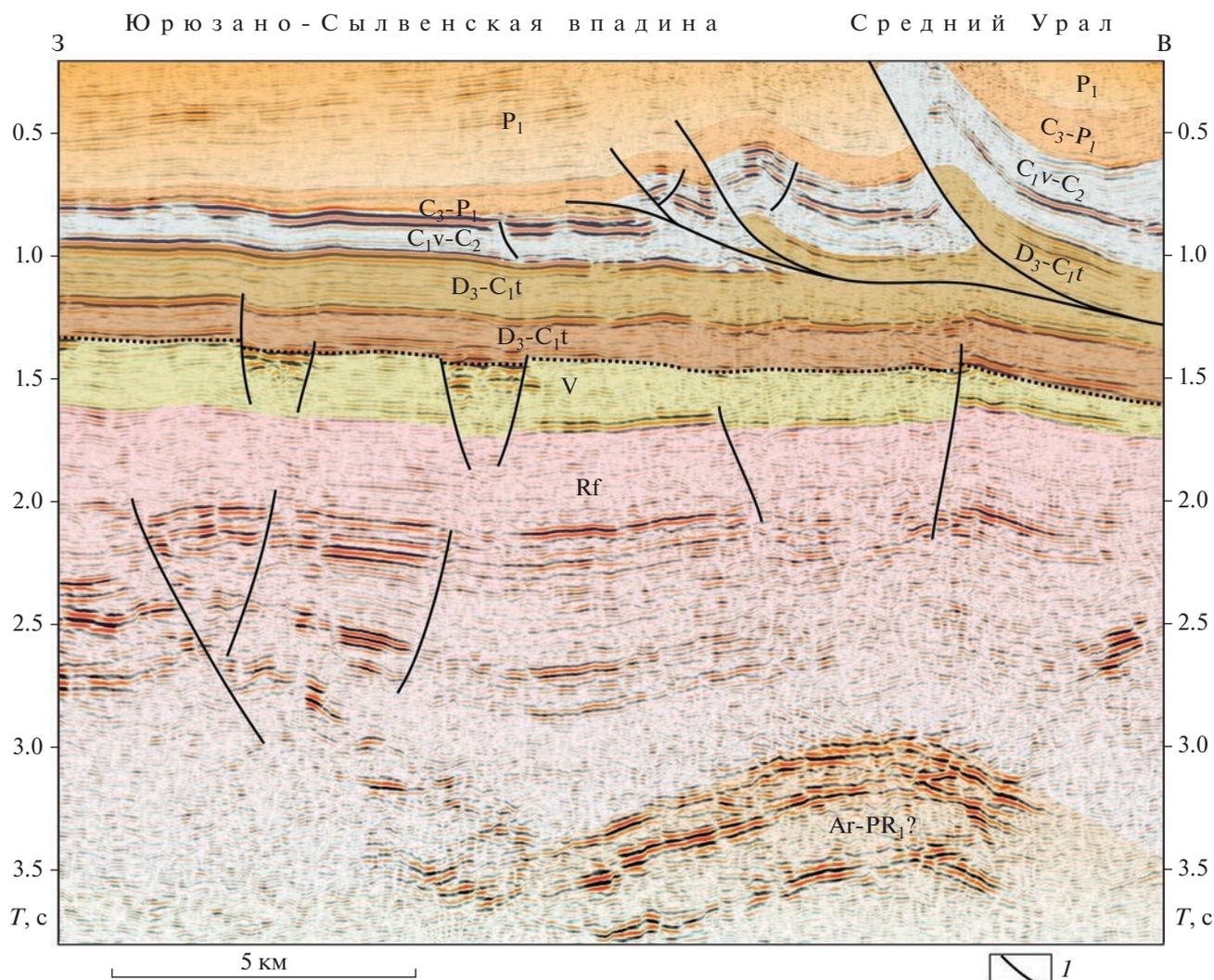
рост диапиров, обусловленный инверсией плотности солей, приводит к деформациям прилегающих отложений. Долгоживущие диапировые структуры известны на юге Предуралья и имеют широкое распространение в Прикаспийском бассейне [9, 25]. В зоне развития дислоцированных диапиров Тимано-Печорского бассейна, деформации прилегающих пород могут быть необоснованно приняты за результат постколлизионного тектонического сжатия, что может привести к неточной интерпретации времени проявления фаз деформаций.

### СТРУКТУРНЫЕ СТИЛИ СРЕДНЕГО И ЮЖНОГО ПРЕДУРАЛЬЯ

Структурные стили деформаций складчато-надвиговых зон центральных и южных районов Предуралья существенно отличаются от структурных стилей в северной части рассматриваемого района [9, 20, 29]. Вероятной причиной этих отличий является то обстоятельство, что в зоне сочленения Урала с Восточно-Европейской платформой происходит совмещение рифейско-вендской и палеозойской последовательностей континентальной окраины Восточно-Европейской платформы [16, 35].

При этом основную часть осадочного чехла образуют рифейско-вендские отложения, а мощность и стратиграфический объем палеозойского комплекса значительно сокращены по сравнению с Тимано-Печорским бассейном (см. рис. 3). К северу рифейско-вендский прогиб располагается западнее Тиманского кряжа в пределах Мезенского бассейна, не распространяясь в пределы Тимано-Печорского бассейна (см. рис. 1).

Наложение палеозойских отложений на мощный рифейско-вендский комплекс хорошо видно на сейсмических разрезах и в скважинах (рис. 10).



**Рис. 10.** Интерпретированный сейсмический разрез 3D зоны сочленения Юрюзано-Сылвенской впадины с Уралом. Положение разреза – см. рис. 4.  
I – разлом

Сейсмические данные показывают, что эти осадочные комплексы дислоцированы существенно различно. В восточной части разреза под палеозойским надвиговым фронтом и прилегающей частью Юрюзано-Сылвенской впадины залегают смятые складчатые рифей–вендские слои.

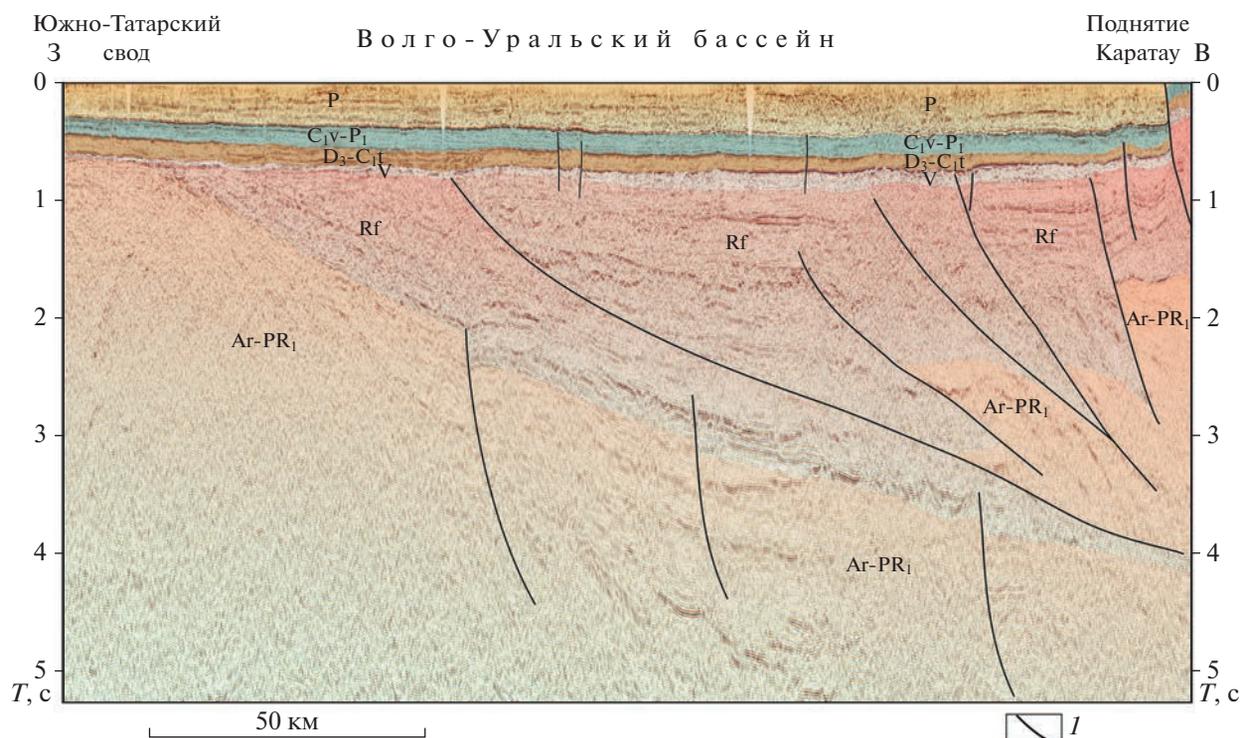
Это согласуется с представлениями, согласно которым строение этого региона определялось двумя циклами формирования бассейнов континентальной окраины – в рифее–венде и палеозое [16, 20]. Оба цикла завершились коллизионной складчатостью – в конце докембрия и конце палеозоя. В строении палеозойских отложений отмечаются элементы унаследованности от докембрийского структурного плана [20]. В ряде случаев можно наблюдать тектоническую реактивацию

докембрийских структур, связанную с уральской складчатостью (см. рис. 10).

Рассмотрим строение Предуралья перед фронтом поднятия Каратау и Башкирского антиклинория (см. рис. 3, разрез Г–Г'; рис. 11).

В этой зоне Предуралья деформированность палеозойских слоев минимальна. Локально они разбиты относительно крутыми разломами в узкой зоне сочленения с Уралом. Пологое погружение палеозойских толщ в сторону платформы локально сопровождается наличием западной проградационной слоистости в франко–турнейских отложениях [20].

Сокращение мощности и стратиграфической полноты палеозойского комплекса, а также результированность краевого прогиба в этой зоне сов-



**Рис. 11.** Интерпретированный сейсмический разрез приуральной части Волго-Уральского бассейна. Положение разреза см. на рис. 4. I – разлом

падают с утолщением рифей–вендских отложений – их мощность достигает  $\geq 10$  км.

Сейсмические данные позволяют выделить складчато-надвиговые деформации в рифей–вендских отложениях и фундаменте [23]. Некоторые деформации испытали реактивацию в палеозое, на что указывает строение и фациальная зональность палеозойских отложений.

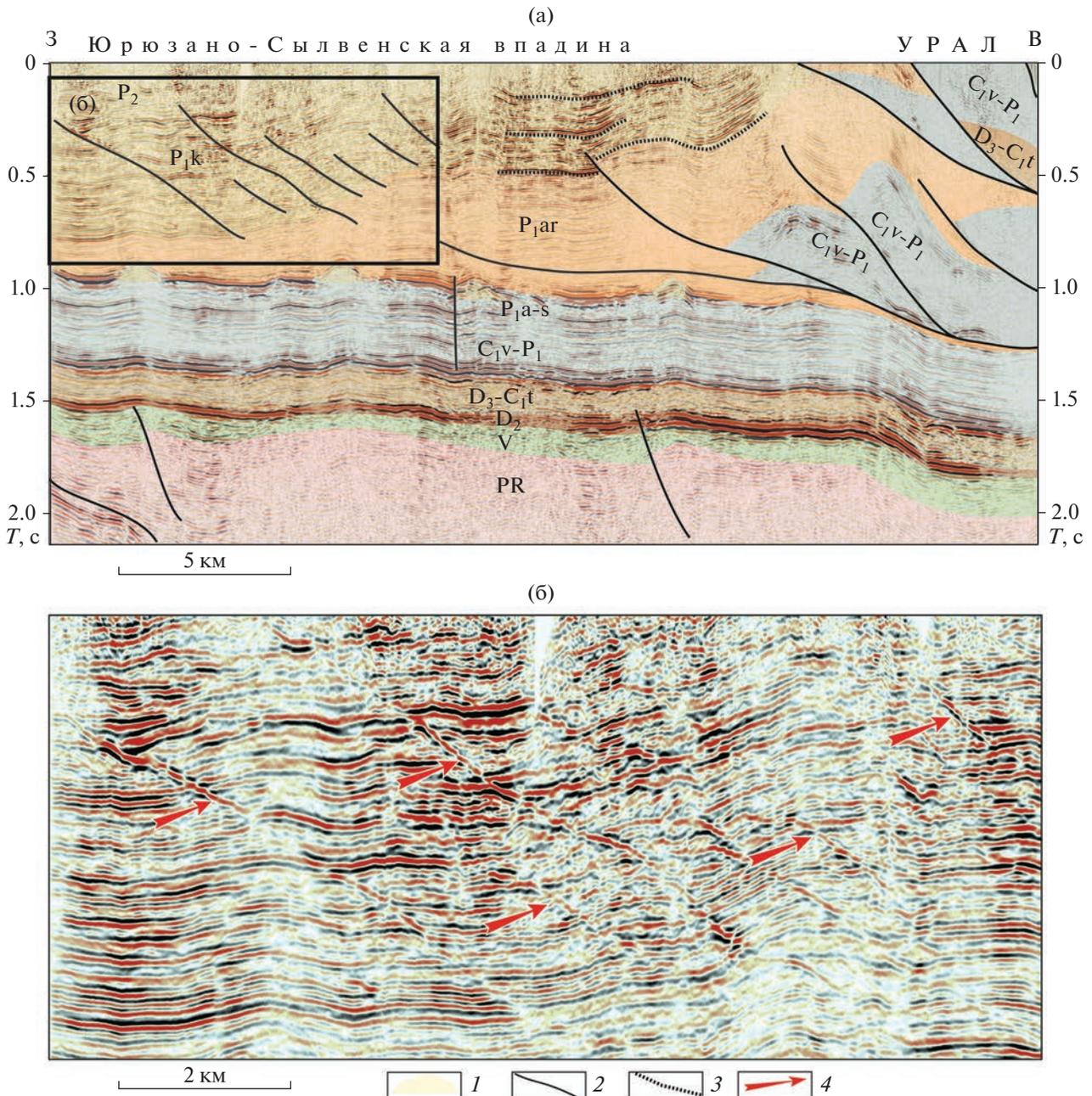
Наблюдаемый стиль деформаций свидетельствует о том, что положение докембрийского депонцентра седиментации определило условия залегания палеозойских отложений. Это следует из того, что по мере сокращения толщины рифей–вендских отложений к северу и югу от Башкирского антиклинория перед Уральским складчатым сооружением вновь возникает краевой прогиб. Наличие этого депонцентра рифей–вендских отложений объясняет уникальную концентрацию запасов нефти в пределах прилегающего к этому прогибу с запада Южно-Татарского свода [20]. По-видимому, основным источником нефти являлись рифей–вендские осадочные отложения. Миграции нефти в западном (в современных координатах) направлении способствовало устойчивое региональное воздымание ри-

фей–вендской толщи в сторону этого свода (см. рис. 11).

#### МАЛОАМПЛИТУДНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ НАДВИГОВЫХ ЗОН

Совершенствование методов сбора и обработки сейсмических данных повышает их разрешающую способность. В структурной интерпретации повышенное разрешение данных дает возможность выделять системы мелких разломов и зон локальных стратиграфических несогласий (рис. 12). Амплитуда смещения по таким разломам составляет первые десятки метров.

В разрезе кунгурских отложений Юрюзано-Сылвенской впадины прослеживается система мелких надвигов с пологими углами падения сместителей. Они хорошо выражены в увеличенной части этого разреза (см. рис. 12, (б)). Вероятно, что эти малоамплитудные нарушения возникли в процессе коллизионной складчатости перед фронтом крупных надвиговых деформаций, затрагивающих девон–нижнепермские отложения. Их сосредоточение в толще кунгурских отложений дает основание полагать, что в это время произошла фаза надвиговых деформаций.



**Рис. 12.** Строение зоны сочленения Юрюзано-Сылвенской впадины со Средним Уралом.

(а) – интерпретированный сейсмический разрез; (б) – фрагмент разреза, показывающий признаки наличия малоамплитудных надвигов в кунгурских отложениях (обозначены стрелками).

Положение разреза – см. рис. 4.

1 – разлом; 2 – несогласие; 3 – риф; 4 – положение малоамплитудных надвигов

Подобные системы разломов (протонадвигов) ранее были обнаружены морской сейсморазведкой, которая позволяет получать данные более высокого разрешения, чем сейсморазведка, проводимая на суше [28]. Протонадвиги рассматриваются как эмбриональные формы надвигов. Происхождение подобных малоамплитудных разломов связано с дефлюидизацией осадочного чехла краевого прогиба в условиях тектонического сжатия [28,

60]. Наличие большого количества таких нарушений объясняет типичное ухудшение прослеживаемости отражающих горизонтов и разрешенности сейсмической записи в складчато-надвиговых зонах.

Показано выражение аналогичных деформаций в полевых условиях в Терско-Каспийском прогибе – это малоамплитудные наклонные на-



**Рис. 13.** Фото обнажения среднемиоценовых синколлизонных отложений фронта пояса надвигов Предгорного Дагестана. Показаны (пунктир) малоамплитудные наклонные нарушения.

рушения в среднемиоценовых отложениях в зоне развития надвигов фронта Дагестанского клина (рис. 13).

В данном примере эти разломы часто являются зонами инъекций песчаников, образующих нептунические дайки. Локально они содержат признаки вторичной минерализации, что указывает на то, что они возникали в условиях аномально высокого пластового давления и являлись путями миграции флюидов.

Наличие малоамплитудных, но многочисленных разрывов в зонах надвиговых деформаций может быть существенным при детальном структурном построении и балансировании геологических разрезов. Веерные системы этих нарушений могут рассеивать смещения по дискретным разломам в компетентных отложениях. Наличие нептунических даек, секущих осадочный чехол, вероятно, снижает качество покрышек залежей нефти газа в этих отложениях.

Стратиграфическая приуроченность этих нарушений в совокупности с анализом распределения несогласий в синколлизонных отложениях позволяет датировать фазу надвиговых деформаций. В рассматриваемой части Юрюзано-Сыльвенской впадины протонадвиги и локальные стратиграфические несогласия перед надвиговым фронтом Урала сосредоточены в разрезе кунгурских отложений (см. рис. 12).

Таким образом, надвиговые деформации в этой части Предуралья развивались в кунгурском веке—начале поздней перми.

### МЕХАНИЗМЫ ДЕФОРМАЦИЙ

Существенные различия в структурных стилях складчатости в зоне предгорной складчатости Урала и Пай-Хоя показывают разнообразие механизмов деформаций, — эти механизмы включают:

- образование систем тонкочешуйчатых тектонических пластин, определяемое реологической стратификацией деформируемого разреза (см. рис. 5);
- формирование вдвиговых тектонических клиньев, их дуплексирование (см. рис. 6);
- инверсию ранее образованных сбросов (см. рис. 7);
- раздавливание соляных диапиров с экструзией соли и замещение занимаемого им пространства компетентными аллохтонными породами (см. рис. 8, см. рис. 9);
- реактивация ранее существовавших систем надвигов в области рифей—вендского прогиба под покровом палеозойских отложений (см. рис. 10, см. рис. 11).

Рассмотрим следующие сценарии развития деформаций для двух частей региона исследования, строение которых в наибольшей мере уточнено на основе новых данных.

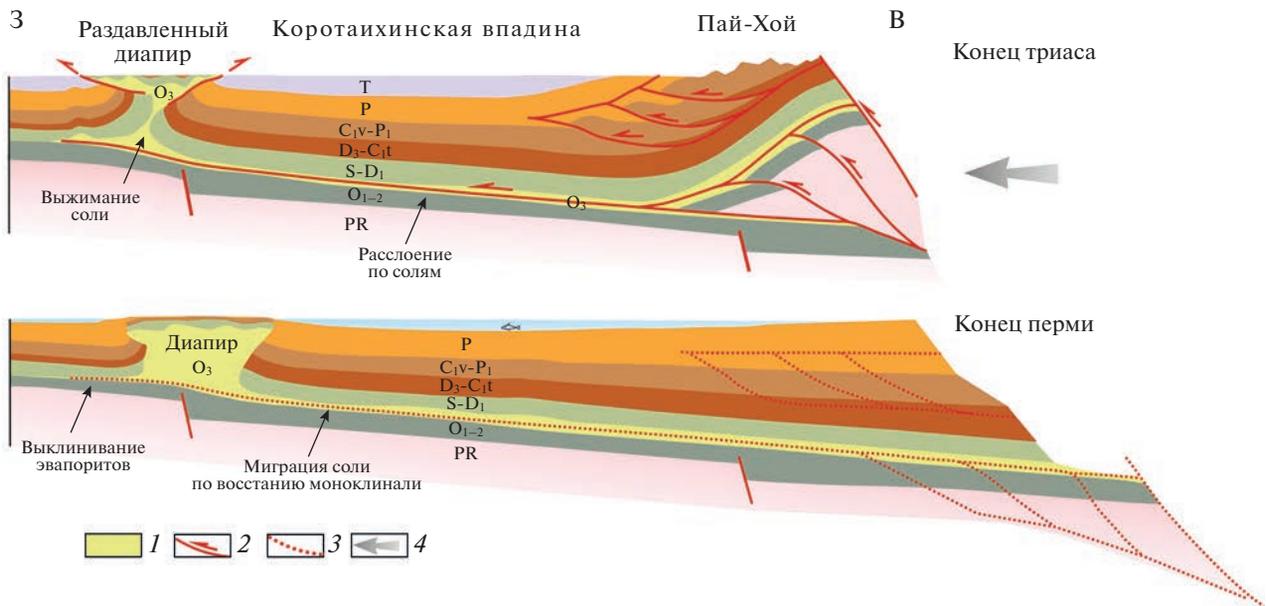


Рис. 14. Схема структурного развития зоны сочленения Печорской плиты с Пай-Хоем. 1 – эвапориты; 2 – разлом; 3 – будущий разлом; 4 – сжатие

Прототипом первого сценария структурного развития складчатого пояса является северная часть Коротаихинской впадины и Пай-Хоя.

Второй сценарий касается зоны сочленения Предуралья с поднятием Каратау и Башкирским антиклинорием.

Показано формирование складчато-надвиговой структуры Коротаихинская впадины и прилегающих складчатых зон (рис. 14).

Основная часть Коротаихинской впадины слабо дислоцирована, а складчато-надвиговые деформации сосредоточены в прилегающих зонах. В этом отношении она представляет собой аналог Косью-Роговской впадины (см. рис. 8). Важным общим элементом строения этих районов является наличие в разрезе солей верхнего ордовика. В восточной пайхойской части рассматриваемого района структурное развитие определялось расслоением осадочного чехла и формированием двухъярусной вдвиговой структуры с широким развитием дуплексной складчатости. Этот стиль деформаций объясняет наблюдаемую дисгармоничную складчатость, при которой структурные планы разных глубинных и стратиграфических уровней не соответствуют друг другу (см. рис. 6). По-видимому, данный стиль деформаций характерен для районов, которые:

- обладают реологически стратифицированным осадочным выполнением большой толщины;
- подвергались сильному тектоническому сжатию.

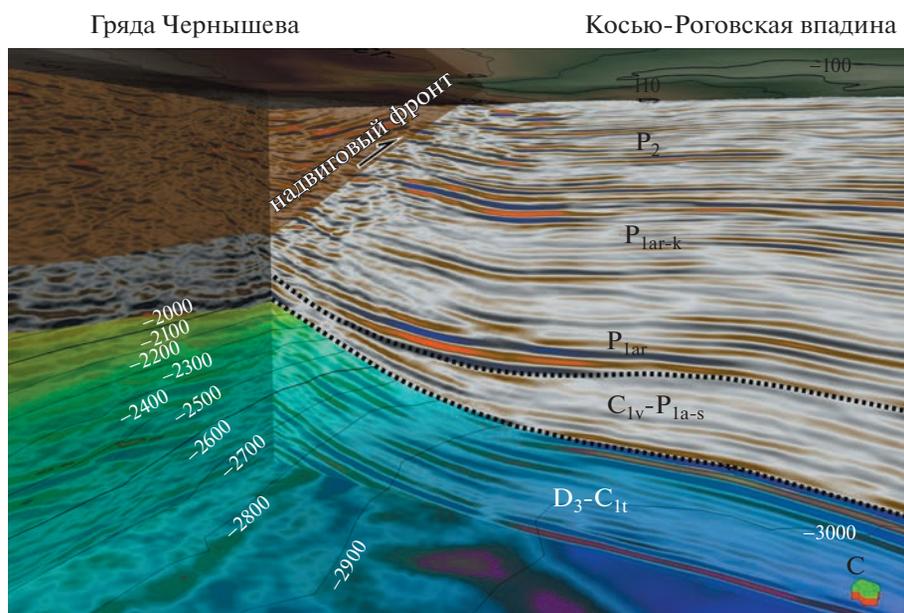
Это создает предпосылки для формирования anomalно высоких пластовых давлений и расслоения чехла на нескольких структурных уровнях.

В западной части профиля деформации осадочного чехла в основном определялись деформациями верхнеордовикских эвапоритов. Предполагается, что накопление солей на западном борту Коротаихинской впадины происходило до коллизионной складчатости. Региональный уклон бассейна континентальной окраины способствовал перемещению солей по моноклинали до флексурной зоны на западе впадины. Латеральное перемещение солей является характерной чертой многих соленосных бассейнов асимметричных континентальных окраин [38, 43, 45].

Предположение о формировании соляных диапиров до коллизионной складчатости согласуется с данными изучения аналогичных зон соляных деформаций на гряде Чернышева с применением сейсморазведки 3D. Эти данные, в частности, показывают, что с приближением к дислоцированному соляному диапиру, происходит локальное выклинивание визейско–нижнепермских отложений (рис. 15).

Это свидетельствует о росте соляного диапира на гряде Чернышева до наступления коллизионного сжатия, которое в этом районе началось во второй половине артинского века [19].

Коллизионное сжатие вызвало дисгармоничные дислокации с формированием крупного клиновидного аллохтона с участием протерозойского фундамента в пределах складчатого пояса Пай-



**Рис. 15.** Объемное изображение строения девон–пермского осадочного чехла Косью-Роговской впадины в зоне при-мыкания к гряде Чернышева (по данным сейсмической съемки 3D (по [24])). Показано: положение кровли и подошвы визейско–сакмарских отложений, выклинивающихся с приближением к дислоцированному диапиру (пунктир); глубинный грид по поверхности несогласия, м (полупрозрачная цветная поверхность в зоне гряды Чернышева, соответствующая подошве аллохтонной пластины, надвинутой на Косью-Роговскую впадину).

Хоя [56]. Аллохтонный комплекс расщепил разрез осадочного чехла вдоль солей. Передача деформаций сжатия со стороны Пай-Хоя в западную часть Коротайхинской впадины, вероятно, происходила за счет расслоения чехла по слою солей [26, 34, 56]. Аналогичные тектонические срывы (детачменты) в солях установлены в ряде районов мира, в том числе в Терско-Сунженской зоне Предкавказья, Юрских горах Альп, Афгано-Таджикском бассейне, Соляном Хребте Пакистана, Таримском бассейне Китая и других районах [30, 33, 38, 44, 45, 61].

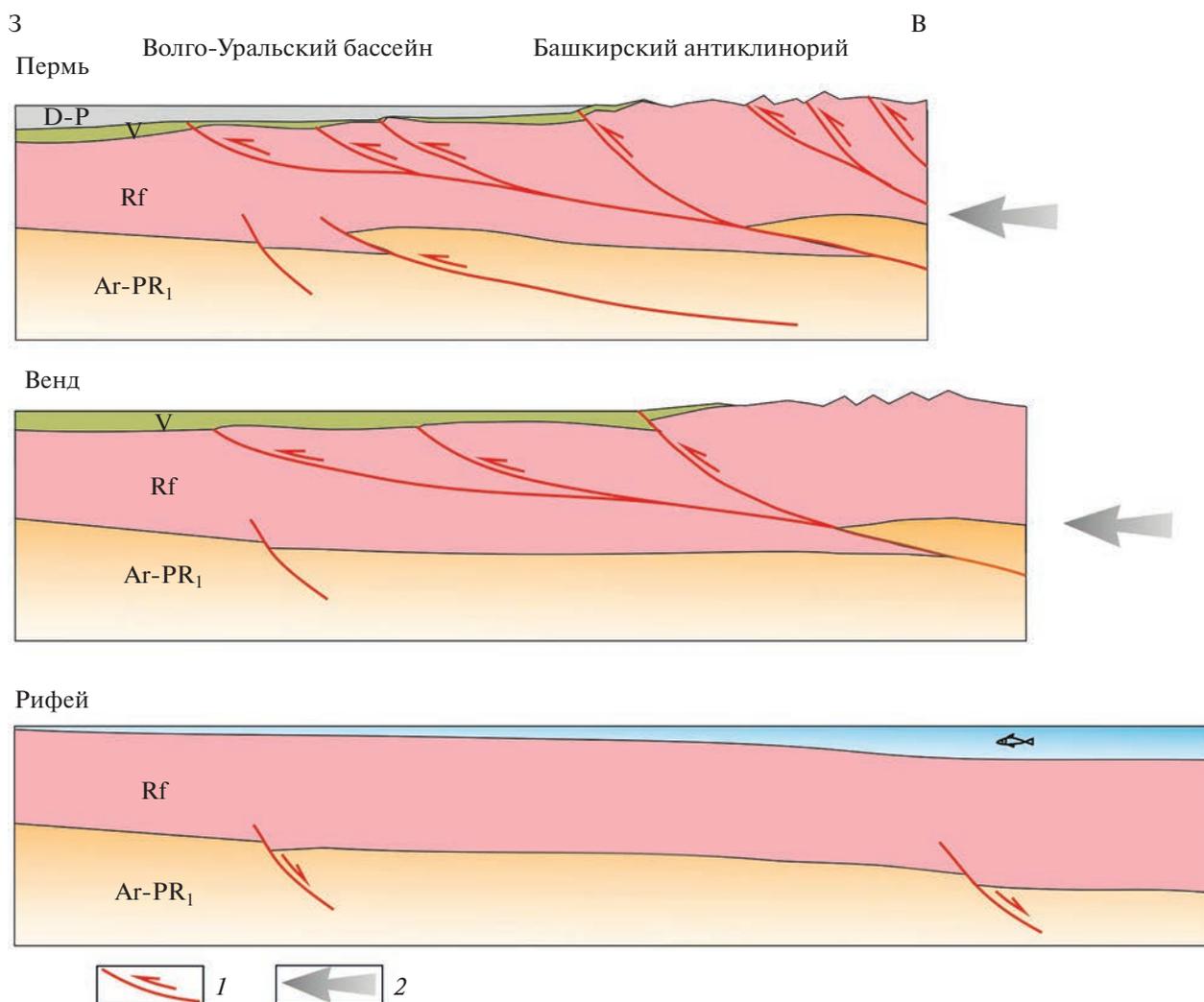
Скольжение по солям способствовало перемещению надсолевых отложений без существенных внутренних деформаций вплоть до зоны выклинивания эвапоритовых отложений. В то же время соляные валы, расположенные перед перемещающимся тектоническим покровом, подверглись сжатию, образуя соли — выдавливание на поверхность, где они образовывали глетчеры и растворялись. Пространство, которое занимали соли, замещалось аллохтонными компетентными отложениями надсолевой тектонической пластины, перемещенной со стороны Пай-Хоя. Примеры таких раздавленных диапиров установлены в глубоководных складчатых поясах окраин Атлантического океана, а складчатых поясах Альп, Карпат, Динарид, Сивашском бассейне Турции и в других районах [30–33, 54, 57, 58].

Нередко процесс выжимания солей приводит к их полной эвакуации и смыканию стенок диапира [36]. Таким образом, пластичность соли позволяла поглощать напряжения сжатия путем их удаления из деформируемого пространства. Это свойство солей определяет своеобразие структурного стиля зон раздавленных диапиров в пределах складчато-надвиговых поясов.

Совершенно по-иному шло развитие складчатой структуры в зоне сочленения Предуралья с поднятием Каратау и Башкирским антиклинорием. Здесь отмечается парадоксальное отсутствие крупных надвиговых деформаций в палеозойских отложениях и сокращение глубины краевого прогиба (см. рис. 3, разрез Г–Г'; см. рис. 11). Подобная редуцированность краевого прогиба была описана как шовное сочленение складчатого сооружения с прилегающей платформенной областью [23].

Схематически изображено предполагаемое структурное развитие этого района (рис. 16).

Предлагаемая схема показывает, что основным фактором структурного развития этого района была многокилометровая толща рифей–вендских отложений континентальной окраины, реакция которой на сжатие определяла своеобразие структурного стиля деформаций в этом районе. После накопления рифейских отложений здесь



**Рис. 16.** Схема структурного развития зоны сочленения Предуралья с поднятием Каратау и Башкирским антиклинорием.  
1 – разлом; 2 – сжатие

произошла коллизионная складчатость, в результате чего возник складчатый пояс тиманид. Вендские отложения несогласно перекрыли смятые и эродированные рифейские толщи. В раннем палеозое древняя континентальная кора уральской окраины Восточно-Европейской платформы, с мощным рифей–вендским чехлом, не испытывала погружения. В результате, нижнепалозойские отложения здесь отсутствуют [24].

Начиная с позднего девона в условиях столкновения с Магнитогорской дугой и вплоть до завершения коллизионной складчатости надвиги, которые затрагивали рифейские отложения, были реактивированы [20]. Кроме этого, в дополнение к ним возникли новые разломы, которые привели к тектоническому утолщению (телескопированию) докембрийских отложений.

Огромный размах тектонического утолщения пород докембрия во внутренней части складчатого пояса Урала проявляется в наличие пород эклогитовой стадии метаморфизма в пределах поднятия Уралтау, примыкающей с запада к Главному Уральскому разлому [13, 16, 29, 46]. Тектоническое утолщение докембрийских комплексов, привело к образованию Башкирского антиклинория, а также воспрепятствовало формированию классического краевого прогиба в прилегающей части Предуралья [20].

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Интерпретация геолого-геофизических данных, характеризующих строение складчато-надвиговых зон Урала и Пай-Хоя, свидетельствует о многообразии структурных стилей деформаций

(см. рис. 3). Изменчивость этих стилей обнаруживает связь с геодинамической эволюцией рассматриваемого региона и производного от этой эволюции состава осадочного чехла.

Фактор различий в ходе геодинамической эволюции наглядно проявляется при сопоставлении структурных стилей деформаций складчато-надвиговых зон в пределах Тимано-Печорского и Волго-Уральского бассейнов.

В первом случае осадочный чехол образован главным образом отложениями, накопившимися в палеозойское время в пределах Уральской континентальной окраины.

Во втором случае происходит совмещение осадочных мегапоследовательностей тиманской и уральской континентальных окраин. При этом палеозойский осадочный чехол имеет небольшую толщину и сокращенный стратиграфический состав (см. рис. 3).

Особенностью строения краевых прогибов Тимано-Печорского бассейна является значительно большая глубина краевых прогибов, выраженных в палеозойских отложениях (см. рис. 3). В мощном, реологически стратифицированном осадочном чехле Тимано-Печорского бассейна широко распространены крупные дуплексные надвиговые структуры (см. рис. 6). Здесь также выделяются крупные инверсионные складки, образованных за счет реверсивных перемещений по разломам, возникшим в раннем палеозое (см. рис. 7).

Наличие в чехле солей верхнего ордовика способствовало распространению складчато-надвиговых деформаций на больших площадях. Это происходило благодаря расслоению осадочного чехла по солям. В северо-восточных районах бассейна выделяются своеобразные складчатые зоны, формирование которых связывается с выжиманием солей диапиров (см. рис. 8, см. рис. 9). Предлагаемый структурный механизм объясняет существование грибовидных диапиров и надвигов антиуральской вергенции (см. рис. 14).

Глубина краевых прогибов в зоне сочленения Восточно-Европейской платформы с Уралом существенно меньше, чем в северной части рассматриваемого района (см. рис. 3).

Наличие в этой зоне мощного рифей-вендского осадочного чехла во многом определяет специфику складчато-надвиговых деформаций. На поверхности эти деформации сосредоточены в относительно узкой полосе предгорной складчатости. В относительно маломощном палеозойском осадочном чехле преобладает развитие тонкочешуйчатой складчатости (рис. 10).

Вдвиговые структуры имеют ограниченное распространение в зонах повышенной мощности синколлизионных отложений (см. рис. 5).

Сокращенная мощность палеозойского чехла на окраине Восточно-Европейской платформы балансируется наличием многокилометровой толщи рифей-вендских осадочных отложений, депозит которой находится в районе Башкирского антиклинория и поднятия Каратау (см. рис. 11).

Сейсмические данные показывают, что деформации рифейских отложений имели место в основном в предвендское время. Палеозойские коллизионные события в пределах Уральской континентальной окраины реактивировали разломы раннего заложения (см. рис. 16). Это привело к тектоническому утолщению рифей-вендских отложений, что сократило пространство accommodations для палеозойских отложений. В результате стратиграфический объем и мощность палеозойских отложений на восточной окраине Восточно-Европейской платформы значительно меньше, чем в северном Предуралье (см. рис. 3).

Помимо приведенных общих характеристик строения зон предгорной складчатости Урала и Пай-Хоя, сейсмические данные позволяют показать величину надвиговых перекрытий, которая в конкретных случаях измеряется десятками километров (см. рис. 5).

На сейсмических данных высокого разрешения можно видеть малоамплитудные эмбриональные надвиги (протонадвиги), а также локальные несогласия (см. рис. 12, см. рис. 15). Эти данные уточняют определение возраста и динамики формирования складчато-надвиговых структур.

Детализация строения складчато-надвиговых поясов за счет применения современных геофизических методов привела к целому ряду открытий крупных нефтяных и газовых месторождений [47, 53, 61]. Представляется, что новые данные о строении складчатых предгорий Урала и Пай-Хоя позволят по-новому определить приоритеты геолого-разведочных работ.

## ВЫВОДЫ

В результате проведенного исследования зон предгорной складчатости Урала и Пай-Хой и интерпретации имеющихся и полученных новых сейсмических и геолого-геофизических данных можно сделать следующие выводы.

1. Анализ сейсмических данных, характеризующих строение зоны предгорной складчатости Урала и Пай-Хоя, показал многообразие струк-

турных стилей складчато-надвиговых деформаций, к которым относятся:

– надвиговые зоны классического стиля, представляющие собой чешуйчатые системы надвиговых пластин, последовательно перекрывающие друг друга и прилегающую часть краевого прогиба;

– области распространения клиновидных аллохтонов, сложенные дуплексными тектоническими пластинами, не имеющими отражения в приповерхностных слоях;

– зоны инверсии, где сбросы, связанные с уральским рифтогенезом, трансформировались в надвиги;

– районы, строение которых определяется деформациями соляных диапиров с экструзией соли и вытеснением солей компетентными аллохтонными породами;

– зоны, деформации которых обусловлены тектоническим утолщением докембрийских комплексов под покровом палеозойского чехла.

Во многих случаях перечисленные структурные стили сочетаются друг с другом в разных соотношениях. Распространение выделенных структурных стилей определяется совокупностью следующих факторов:

- строение фундамента,
- наличие структур раннего заложения,
- мощность рифей–вендских осадочных отложений,
- реологическая стратификация осадочного чехла, включая, наличие соленосных толщ,
- геодинамические условия развития континентальной окраины тиманид и уралид.

2. Интерпретация сейсмических данных о строении складчатых поясов позволяют существенно уточнить строение и развитие районов, которые являлись особенно сложными для интерпретации, к которым относятся зоны клиновидных вдвигов, области развития дислоцированных соляных диапиров и районы, структурной реактивации и тектонического утолщения докембрийских комплексов. Современные сейсмические данные дают возможность уточнить амплитуду складчато-надвиговых дислокаций, – они показали наличие зон развития систем мелких эмбриональных надвигов. Распространение надвигов и их стратиграфическая приуроченность вместе с несогласиями в синколлизонных толщах позволяет уточнить возраст надвиговых деформаций. В рассмотренной части Юрюзано-Сылвенской впадины эти деформации относятся к кунгурскому веку–началу поздней перми. В северо-восточных районах Тимано-Печорского бас-

сейна выявлены зоны развития дислоцированных диапиров, которые образованных верхнеордовикскими солями. Выявление этих образований существенно уточняет представления о факторах и динамике структурного развития складчато-надвиговых зон этого бассейна.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую признательность коллегам за обсуждение различных аспектов сейсмической интерпретации и геологии Предуралья В.А. Балдину (АО Башнефтегеофизика, г. Уфа, Респ. Башкортостан, Россия), Т.Г. Каргиевой (ЦГЭ, г. Москва, Россия), И.П. Короткову (ГСД, г. Москва, Россия), Н.И. Никонову (ТП НИЦ, г. Ухта, Республика Коми, Россия), Н.К. Фортунатовой (ВНИГНИ, г. Москва, Россия), в память об ушедших коллегах – А.W. Bally (Houston, USA), В.Е. Хаин (г. Москва, Россия), В.С. Шеин (г. Москва, Россия).

Автор благодарит ООО “Северо-Уральская нефтегазовая компания” (г. Ухта, Респ. Коми, Россия) за техническую поддержку при выполнении исследования.

Автор благодарен рецензентам В.Н. Пучкову (ИГиГ УрО РАН, г. Екатеринбург, Россия), М.П. Антипову (ГИН РАН, г. Москва, Россия) и Б.Г. Голионко (ГИН РАН, г. Москва, Россия) за полезные комментарии, автор признателен редактору М.Н. Шуплецову (ГИН РАН, г. Москва, Россия) за тщательное редактирование.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас геологических карт Тимано-Печорского седиментационного бассейна. – Под ред. Н.И. Никонova. – Ухта: Региональный Дом печати, 2002. 132 с.
2. Глубинное строение, эволюция и полезные ископаемые раннедокембрийского фундамента Восточно-Европейской платформы. – Т.1. – Интерпретация материалов по опорному профилю 1-ЕВ, профилям 4В и ТАТСЕЙС. – Под ред. М.В. Минц – М.: ГЕОКАРТ– ГЕОС, 2010. 408 с.
3. 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.  
<https://doi.org/10.18599/grs.18.1.3>
4. Данилов В.Н., Гудельман А.А., Уткина О.Л. и др. Геологическое строение и перспективы газоносности западного склона Полярного и Приполярного Урала (по результатам геологоразведочных работ). – Под ред. В.Н. Данилова. – СПб.: ВНИГРИ, 2015. 264 с.
5. Данилов В.Н. Гряда Чернышева: геологическое строение и нефтегазоносность. – Под ред. В.Н. Данилова – СПб.: Реноме, 2017. 288 с.

6. *Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И., Натанов Л.М.* Тектоника литосферных плит территории СССР. – М. Недра, 1990. 328 с.
7. *Иосифиди А.Г., Храмов А.Н.* Полярный Урал и Пай-Хой в поздней перми – палеомагнитная реконструкция. – Мат-лы междунар. школы-семинара “Проблемы палеомагнетизма и магнетизма горных пород”. – СПб.: СОЛО, 2012. 80–86 с.
8. *Иосифиди А.Г., Храмов А.Н.* К истории развития надвиговых структур Пай-Хоя и Полярного Урала: палеомагнитные данные по раннепермским и раннетриасовым отложениям // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т. 5. № 2. [http://www.ngtp.ru/gub/4/21\\_2010.pdf](http://www.ngtp.ru/gub/4/21_2010.pdf)
9. *Казанцев Ю.В.* Структурная геология Предуральского прогиба. – Под ред. М.А. Камалетдинова. М.: Наука, 1984. 185 с.
10. *Камалетдинов М.А.* Покровные структуры Урала. – Под ред. С.К. Самсонова М.: Наука, 1974. 236 с.
11. *Керимов В.Ю., Горбунов А.А., Лавренова Е.А., Осипов А.В.* Модели углеводородных систем зоны сочленения Русской платформы и Урала // Литология и полезные ископаемые. 2015. № 5. С. 445–458.
12. *Мизенс Г.А., Свяжина И.А.* О палеогеографии Урала в девоне // Литосфера. 2007. № 2. С. 29–44.
13. *Нечехин В.М., Волчек Е.Н.* Тектоно-геодинамическое районирование Урало-Палеоазиатского сегмента Евразии // Литосфера. 2015. № 6. С. 5–25.
14. *Петров Г.А., Свяжина И.А.* Корреляция ордовикско-девонских событий на уральской и скандинавской окраинах Балтики: геологические и палеомагнитные данные // Литосфера. 2006. № 4. С. 23–39.
15. *Проворов В.М.* История геологического развития – В кн.: *Минерально-сырьевые ресурсы Пермского края.* – Под ред. А.И. Кудряшова – Пермь: Книжная площадь, 2006. С. 93–110.
16. *Пучков В.Н.* Геология Урала и Предуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). – Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
17. *Сергеева Н.Д., Пучков В.Н., Карасева Т.В.* Верхний протерозой (рифей и венд) Волго-Уральской области в параметрических и глубоких скважинах. – Под ред. В.Н. Пучкова. – Уфа: Книга-Принт, 2021. 196 с.
18. *Соборнов К.О., Тарасов П.П.* Аллохтонная структура Косью-Роговской впадины (Полярный Урал) // Докл. АН СССР. 1991. Т. 317. № 2. С. 430–433.
19. *Соборнов К.О., Коротков И.П., Яковлев Д.В., Куликов В.А., Кудрявцев К.Ю., Колесник В.Ф.* Раздавленные соляные диапиры гряды Чернышева (Тимано-Печорский бассейн): комплексное изучение и влияние на нефтегазоносный потенциал // Геология нефти и газа. 2021. № 1. С. 73–88.
20. *Соборнов К.О.,* Строение Южного Урала и Предуралья на основе интерпретации региональных сейсмических данных и происхождение богатейших залежей нефти в Волго-Уральском бассейне // Геология нефти и газа. 2023. № 1. С. 7–25.
21. *Трофимов В.А.* Глубинные региональные сейсмо-разведочные исследования МОГТ нефтегазоносных территорий. – М.: ГЕОС, 2014. 202 с.
22. *Фазлиахметов А.М., Масагутов Р.Х., Зименков Р.А.* К перспективам выявления углеводородов в Юрюзано-Сылвенской впадине. – Мат-лы II междунар. научно-практ. конф. “Геология и геофизика”. – Уфа, ПолиПРЕСС, 2022. С. 228–232.
23. *Шатский Н.С.* Основные черты строения и развития ВосточноЕвропейской платформы // Изв. АН СССР. 1946. № 1. С. 5–62.
24. *Шейн В.С., Алференок А.В., Долматова И.В., Мельникова Н.А.* Геодинамические условия формирования осадочного чехла палеобассейнов Восточно-Европейского палеоконтинента // Геология нефти и газа. 2020. № 1. С. 35–55.
25. *Щекотова И.А.* Карбонатные формации Южного Предуралья: тектоника и нефтегазоносность. – Под ред. И.К. Королюка – М.: Наука, 1990. 112 с.
26. *Юдин В.В.* Орогенез севера Урала и Пай-Хоя. – Под ред. Ю.А. Ткачева – Екатеринбург: Наука, 1994, 286 с.
27. *Bally A.W., Sawyer D., Sinkewich A.* Global tectonic and basin maps // Search and Discovery. 2020. Article #30444. [https://www.searchanddiscovery.com/documents/2020/30444bally/ndx\\_bally.pdf](https://www.searchanddiscovery.com/documents/2020/30444bally/ndx_bally.pdf)
28. *Barnes P.M., Ghisetti F.C., Ellis S., Morgan J.K.* The role of protothrusts in frontal accretion and accommodation of plate convergence, Hikurangi subduction margin, New Zealand // Geosphere. 2018. Vol. 14. No. 2. P. 1–29.
29. *Brown D., Puchkov V.N., Alvarez-Marron J., Brea F., Perez-Estaun.* Tectonic processes in the Southern and Middle Urals: An overview. – In: *European Lithosphere Dynamics.* – Ed. by D.G. Gee, R.A. Stephenson, (Geol. Soc., London, Mem. 2006. Vol. 32), P. 407–419.
30. *Callot J.-P., Trocme V., Letouzey J., Albouy E., Jahani S., Sherkat S.* Pre-existing salt structures and the folding of the Zagros Mountains // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2012. Vol. 363. No. 1. P. 545–561. <https://doi.org/10.1144/SP363.27>
31. *Dooley T., Hudec M., Jackson M.* The structure and evolution of sutures in allochthonous salt // AAPG Bull. 2012. Vol. 96. P. 1045–1070.
32. *Duffy O.D., Dooly T.P., Hudec M.R., Jackson M.P.A., Fernandez N., Jackson C.A.-L., Soto J.I.* Structural evolution of salt-influenced fold-and-thrust belts: A synthesis and new insight basins containing isolated salt diapirs // J. Struct. Geol. 2018. Vol. 114. P. 206–221.
33. *Flinch J.F., Soto I.* Passive-margin allochthonous salt canopies emplaced within an Alpine fold-and-thrust belt: Example from the Betic Cordillera of Spain // Search and Discovery. 2015. Article #30428. [https://www.searchanddiscovery.com/documents/2015/30428flinch/ndx\\_flinch.pdf](https://www.searchanddiscovery.com/documents/2015/30428flinch/ndx_flinch.pdf)

34. *Fossum B.J., Grant N.T., Byurchieva B.V.* Petroleum system evaluation of the Korotaiha fold-belt and foreland basin, Timan–Pechora, Russia // *Search and Discovery*. 2013. Article #10491. [https://www.searchanddiscovery.com/documents/2013/10491fossum/ndx\\_fossum.pdf](https://www.searchanddiscovery.com/documents/2013/10491fossum/ndx_fossum.pdf)
35. *Gee D.G., Bogolepova O.K., Lorenz H.* The Timanide, Caledonide and Uralide orogens in the Eurasian high Arctic, and relationships to the palaeo-continent Laurentia, Baltica and Siberia. – In: *European Lithosphere Dynamics*. – Ed. by D.G. Gee, R.A. Stephenson, (Geol. Soc. London. Mem. 2006. Vol. 32), P. 507–520.
36. *Graham R., Jackson M., Pilcher R., Kilsdonk B.* Allochthonous salt in the sub-Alpine fold-thrust belt of Haute Provence, France // *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 2012. No. 363. P. 595–615. <https://doi.org/10.1144/SP363.30>
37. *Hagke von Ch., Malz A.* Triangle zones – Geometry, kinematics, mechanics, and the need for appreciation of uncertainties // *Earth Sci. Rev.* 2018. Vol. 177. P. 24–42.
38. *Hudec M.R., Jackson M.P.A.* Advance of allochthonous salt sheets in passive margins and orogens // *AAPG Bull.* 2006. Vol. 90. No. 10. P. 1535–1564.
39. *Izquierdo-Llavall E., Roca E., Xie H., Pla O., Muñoz J.A., Rowan M.G., et al.* Influence of overlapping décollements, syntectonic sedimentation, and structural inheritance in the evolution of a contractional system: The Central Kuqa fold-and-thrust belt (Tian Shan Mountains, NW China) // *Tectonics*. 2018. Vol. 37. <https://doi.org/10.1029/2017TC004928>
40. *Jackson M.P.A., Hudec M.R.* Salt Tectonics: Principles and Practice. – Cambridge Univ. Press, UK. 2017, 498 p.
41. *Jones P.B.* Oil and gas beneath east-dipping underthrust faults in the Alberta foothills. – In: *Geologic Studies of the Cordilleran Thrust Belt*. – Denver, Rocky Mountain Assoc. Geol., USA. 1982. Vol. 1. P. 61–74.
42. *Khomsi S., Roure F., Vergés J.* Hinterland and foreland structures of the Eastern Maghreb Tell and Atlas thrust belts: Tectonic controlling factors, pending questions, and oil/gas exploration potential of the Pre-Triassic traps // *Arab. J. Geosci.* 2022. Vol. 15. PP. 462. <https://doi.org/10.1007/s12517-022-09707-x>
43. *Kashubin S., Juhlin C., Friberg M., Rybalka A., Petrov G., Kashubin A., Bliznetsov M., Steer D.* Crustal structure of the Middle Urals based on seismic reflection data. – In: *European Lithosphere Dynamics*. – Ed. by D.G. Gee, R.A. Stephenson, (Geol. Soc. London. Mem. 2006. Vol. 32). P. 427–442.
44. *Kendall J., Vergés 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*. – Ed. by J.A. Hammerstein, R. Di Cuia, M.A. Cottam, G. Zamora, R.W.H. Butler, (Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2019. Vol. 490), <https://doi.org/10.1144/SP490-2018-102>
45. *Legeay E., Ringenbach J.-C., Kergaravat C., Pichat A., Mohn G., Kavak K.S., Callot J.P.* Structure and kinematics of the Central Sivas basin (Turkey): A mixed fold- and salt-and-thrust belt // *Search and Discovery*. 2019. Article #30610.
46. *Matte Ph.* The Southern Urals: Deep subduction, soft collision and weak erosion. – In: *European Lithosphere Dynamics*. – Ed. by D.G. Gee, R.A. Stephenson, (Geol. Soc. London. Mem. 2006. Vol. 32). P. 421–426.
47. *Morales M., Hung E., Bischke R.* Three dimensional interpretation of the El Furrial Trend, Eastern Venezuela Basin, Venezuela. – In *Seismic Interpretation of Contractual Fault Related Folds*. – AAPG Stud. Geol. 2005. Vol. 53. P. 83–86. <https://doi.org/10.1306/St531003C8>
48. *Morley C.K., King R., Hillis R., Tingay M., Backe G.* Deepwater fold and thrust belt classification, tectonics, structure and hydrocarbon prospectivity: A review // *Earth-Sci. Rev.* 2011. Vol. 104. P. 41–91.
49. *Najafi M., Verges J., Etemad-Saeed N., Karimnejad H.R.* Folding, thrusting and diapirism: Competing mechanisms for shaping the structure of the north Dezful embayment, Zagros, Iran // *Basin Research*. 2018. Vol. 30. P. 1200–1229. <https://doi.org/10.1111/bre.12300>
50. *Newson A.C.* Imaging the overturned limb of a footwall syncline and its impact on exploration in fold and thrust belts // *Recorder*. 2015. Vol. 40. No. 10. <https://csegrecorder.com/articles/view/imaging-the-overturned-limb-of-a-footwall-syncline>
51. *Pease V.* Eastern Europe: The Timanian and Uralian orogens. – In: *Encyclopedia of Geology*, Elsevier. NY. USA. 2021. 2nd edn), pp.302–310. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102908-4.00028-X>
52. *Pfiffner O.A.* Thick-skinned and thin-skinned tectonics: A global perspective // *Geosciences*. 2017. Vol. 7. P. 1–71. <https://doi.org/10.3390/geosciences7030071>
53. *Roeder D.* Fold-thrust belts at Peak Oil. In: *Hydrocarbons in Contractual Belts*. – Ed. by G.P. Goffey, J. Craig, T. Needham, R. Scott, (Geol. Soc. London. 2010. Vol. 348). P. 7–31. <https://doi.org/10.1144/SP348.2>
54. *Rowan M.G., Krzywiec P.* The Szamotuły salt diapir and Mid-Polish trough: Decoupling during both Triassic–Jurassic rifting and Alpine inversion // *Interpretation*. 2014. Vol. 2. P. SM1–SM18. <https://library.seg.org/doi/abs/10.1190/INT-2014-0028.1>
55. *Şengör A.M.C., Natal'in B.A., Burtman V.S.* Evolution of the Altiid tectonic collage and Palaeozoic crustal growth in Eurasia // *Nature*. 1993. Vol. 364. P. 299–307.
56. *Sobornov K.* Structure and petroleum habitat of the Pay-Khoy–Novaya Zemlya foreland fold belt, Timan Pechora, Russia // *Search and Discovery*. 2013. Article #10554.

- [http://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2013/10554sobornov/ndx\\_sobornov.pdf](http://www.searchanddiscovery.com/pdfz/documents/2013/10554sobornov/ndx_sobornov.pdf)
57. *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 Bull. 2018. Vol. 102. 6. P. 941–958.
58. *Tamas A., Tamas D.M., Krezsek C., Schleder Z., Palladino G., Bercea R.* The nature and significance of sand intrusions in a hydrocarbon-rich fold and thrust belt: Eastern Carpathians bend zone, Romania // J. Geol. Soc. 2019. Vol. 177. No. 2. P. 343–356. <https://doi.org/10.1144/jgs2019-107>
59. *Vann I.R., Graham R.H., Hayward A.B.* The structure of mountain fronts // J. Struct. Geol. 1986. Vol. 8. P. 215–227.
60. *Wu J., McClay K., de Vera H.* Growth of triangle zone fold-thrusts within the NW Borneo deep-water fold belt, offshore Sabah, southern South China Sea // Geosphere. 2019. Vol. 16. P. 1–28.
61. *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. V. 98. No. 1. P. 135–159.
62. [https://vsegei.ru/ru/info/catalog\\_ggk/](https://vsegei.ru/ru/info/catalog_ggk/) [Accessed February 1, 2023].

## Structural Styles of Thrust Zones of the Urals and Pay-Khoi Foredeep

**K. O. Sobornov\***

*North Uralian Petroleum Company, Ltd., bld. 6, Furmanniy per., 105000 Moscow, Russia*

*\*e-mail: Ksoborbov@yandex.ru*

The article presents an interpretation of geophysical data characterizing the structure of the frontal fold and thrust zones of the Urals and Pay-Khoi, which show the diversity of structural styles of deformations in the study region. The following structural styles of deformations are considered: classical-style thrust zones, which are in-sequence thin-skinned imbrication systems (i); areas of distribution of wedge-shaped allochthons, composed of duplex tectonic plates that are not reflected in the sub-surface layers (ii); inversion zones where faults associated with Ural rifting are transformed into thrust faults (iii); areas whose structure is determined by the deformation of salt diapirs and extrusion of salt (iv); zone, tectonic thickening of the Precambrian complexes overlain by the Paleozoic cover (v). Interpretation of historical and new data on the structure of fold belts makes it possible to significantly update understanding of the structure and development of areas such as zones of wedge-shaped thrusts, areas of development of squeezed salt diapirs, and areas where reactivation and tectonic thickening of Precambrian complexes occurred due to the reactivation of pre-existing faults. New seismic data provided constraints on the magnitude of horizontal displacements in the thrust zones as well as timing of shortening. For the first time they have revealed the development of arrays of small-scale protothrusts.

**Keywords:** Urals, Cis-Ural trough, Pay-Khoi, fold-thrust belt, structural delamination, salt diapirs, structural inversion, seismic data