

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Поступила в редакцию 12.03.2024 г.

Принята к публикации 29.03.2024 г.

EDN: NHPWJP

УДК 550.834.05:551.243:553.98(470.4/.5)

Фортунатова Н.К.

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

Рыбальченко В.В., Ситдилов Н.Р.

ПАО «Газпром», Санкт-Петербург, Россия, n.sitdikov@adm.gazprom.ru

Шишкина Т.Ю., Белоусов Г.А., Канев А.С., Алференок А.В., Городков А.Б., Таратын Э.А., Сотникова Д.Ю.

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский геологический нефтяной институт» (ФГБУ «ВНИГНИ»), Москва, Россия

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОСТРОЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ТЕКТОНИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В ЗОНЕ ПРЕДУРАЛЬСКОГО КРАЕВОГО ПРОГИБА ВОЛГО-УРАЛЬСКОЙ НЕФТЕГАЗОНОСНОЙ ПРОВИНЦИИ

Приведены результаты геолого-геофизической интерпретации новых и ретроспективных региональных сейсмических профилей, что позволяет существенно уточнить представления о строении и нефтегазоносности отложений осадочного чехла в пределах Предуральского краевого прогиба Волго-Уральской нефтегазоносной провинции. Прослежены и откартированы разрывные нарушения различной конфигурации и генезиса. Интерпретация сейсмических данных показывает широкое развитие как древних разломов, так и нарушений сбросового типа, формировавшихся в условиях погружения и растяжения осадочного комплекса. В обстановке бокового сжатия и сдвига в пермское время формировались взбросы, надвиги, сдвиги и сопряженные с ними пликативные структуры. На основании уточненной структурно-тектонической модели прогнозируются новые поисковые объекты на нефть и газ.

Ключевые слова: интерпретация сейсмических данных, разрывное нарушение, надвиг, разлом, отложения осадочного чехла, структурно-тектоническая модель, Предуральский крайовой прогиб, Волго-Уральская нефтегазоносная провинция.

Для цитирования: Фортунатова Н.К., Рыбальченко В.В., Ситдилов Н.Р., Шишкина Т.Ю., Белоусов Г.А., Канев А.С., Алференок А.В., Городков А.Б., Таратын Э.А., Сотникова Д.Ю. Результаты построения региональной тектонической модели в зоне Предуральского краевого прогиба Волго-Уральской нефтегазоносной провинции // Нефтегазовая геология. Теория и практика. - 2024. - Т.19. - №1. - https://www.ngtp.ru/rub/2024/8_2024.html EDN: NHPWJP

Введение

Поиск и разработка нефтегазовых месторождений на территории восточной части Волго-Уральской нефтегазоносной провинции (НГП) ведётся в России с 30-х гг. прошлого века. За это время найдены 92 месторождения нефти и газа, построена инфраструктура для их добычи и транспортировки. На сегодняшний день большая часть месторождений, связанная с простыми антиклинальными ловушками, уже открыта, разрабатывается, и многие находятся в стадии истощения. Выделение новых нефтегазоносных объектов требует построения сложных с точки зрения геологии и геофизики региональных моделей, включающих структурные

характеристики границ основных палеозойских комплексов, осложнённых дислокациями различного генезиса. В рамках работ по оценке перспектив и обоснования работ в зоне Предуральского краевого прогиба специалистами ФГБУ «ВНИГНИ» в 2023 г. по заданию и при участии специалистов ПАО «Газпром» сделаны анализ и обобщение всей накопленной геолого-геофизической информации о строении тектонических нарушений, проведено их выделение по всем имеющимся в цифровом виде сейсмическим материалам, описаны их генезис и характеристики. По новым региональным сейсмическим профилям (19 профилей общей протяжённостью 1250 пог. км) в пределах Юрюзано-Сылвенской впадины крупные тектонические нарушения выделены впервые. Разломы, положение которых известно по ряду зональных или поисковых сейсмических работ, прослежены и продолжены на соседних площадях, с учётом соответствующих классифицирующих признаков. Уточненная региональная тектоническая модель по территории Предуральского краевого прогиба может быть использована при составлении новых планов геологоразведочных работ на нефть и газ. С тектоническими нарушениями взбросо-надвигового типа часто связаны антиклинальные структуры в отложениях палеозойского чехла, к которым могут быть приурочены промышленные скопления нефти и газа. Кроме того, плоскости дислокаций могут служить экранами, ограничивающими перспективные объекты.

Основные положения

Предуральский краевой прогиб – позднепалеозойская наложенная структура, вытянувшаяся вдоль Урала и обязанная своим возникновением этому позднегерцинскому складчато-надвиговому сооружению. Прогиб расположен на стыке Урала и Восточно-Европейской платформы. Средне-Предуральский прогиб соответствует Среднему Уралу и протягивается с севера на юг на 640 км, Южно-Предуральский – Южному Уралу и имеет длину 470 км. В состав Предуральского прогиба входят (с севера на юг) Соликамская впадина (220*45-68 км), Косьвинско-Чусовская седловина (45*45 км), Сылвенская (240*45-100 км) и Юрюзано-Айская (130*58-110 км) впадины, в состав Южно-Предуральского прогиба – Бельская впадина (150*15-45 км), Шихано-Ишимбайская седловина (55*45 км), Мраковская впадина (180*45-78 км) и Урало-Илекская седловина (90*100 км) (рис. 1). Прогиб расположен в Пермском крае, Свердловской, Челябинской, Оренбургской областях и в Республике Башкортостан.

Со стороны Восточно-Европейской платформы располагается восточный край Волго-Уральской антеклизы, причем впадины Предуральского прогиба соседствуют с впадинами Волго-Уральской антеклизы: Соликамская – с Висимской, Сылвенская с Бымско-Кунгурской, Бельская – с Благовещенской, Мраковская – с Салмышской, а положительные элементы – с

положительными: Косьвинско-Чусовская седловина – с Пермским сводом, структурный комплекс Каратау, разделяющий Средне-Предуральский и Южно-Предуральский прогибы, – с Башкирским сводом, Шихано-Ишимбайская седловина – с Башкирской моноклиналию, Урало-Илекская седловина – с Соль-Илецким выступом. С востока на Предуральский прогиб надвинута Западно-Уральская складчато-надвиговая мегазона.

Первое месторождение нефти обнаружено в 1929 г. в Верхнечусовских Городках. В 1932 г. открыто Ишимбайское месторождение, приуроченное к рифам нижней перми. По состоянию на 01.01.2024 г. в Средне-Предуральском прогибе открыто 68 месторождений нефти и газа, в Южно-Предуральском прогибе – 23 месторождения, в Западно-Уральской складчато-надвиговой мегазоне – 1 месторождение (Ветосское).

Некоторые аспекты тектонодинамической эволюции Предуральского краевого прогиба и Западно-Уральской складчато-надвиговой зоны

Современные представления об истории геологического развития Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости позволяют выделить несколько этапов тектонодинамического развития рассматриваемой территории, которые напрямую связаны и по существу определены тектонодинамической эволюцией Урала [Бондарева и др., 2023].

Предколлизийный этап развития Урала продолжался от позднедокембрийского времени до позднедевонско-раннекаменноугольной эпохи и включает в себя следующие стадии: океанический спрединг, субдукцию, задуговой спрединг [Бондарева и др., 2023]. На этом этапе заложен Главный Уральский разлом – разлом растяжения, происходило раскрытие Уральского палеоокеана, сформировалась Уральская островодужная система за счет субдукционных процессов. Предколлизийный этап характеризуется формированием тиманид. Территория зоны сочленения Восточно-Европейской платформы и Урала (Предуральский прогиб и Западно-Уральская надвиго-складчатая зона в настоящее время) в позднедокембрийско-раннепалеозойское время представляла собой внутреннюю часть шельфа пассивной окраины Восточно-Европейского континента. Отложения представлены палеоплатформенным комплексом, который накапливался в шельфовых условиях до начала формирования краевого прогиба. Обстановки прибрежной равнины периодически сменялись мелководно-морскими и прибрежно-морскими [Волож и др., 2010]. Главной особенностью строения таких зон является фаціальная изменчивость отложений, обилие перерывов, эрозийных врезов и клиноформное строение, т.е. боковое наращивание разреза.

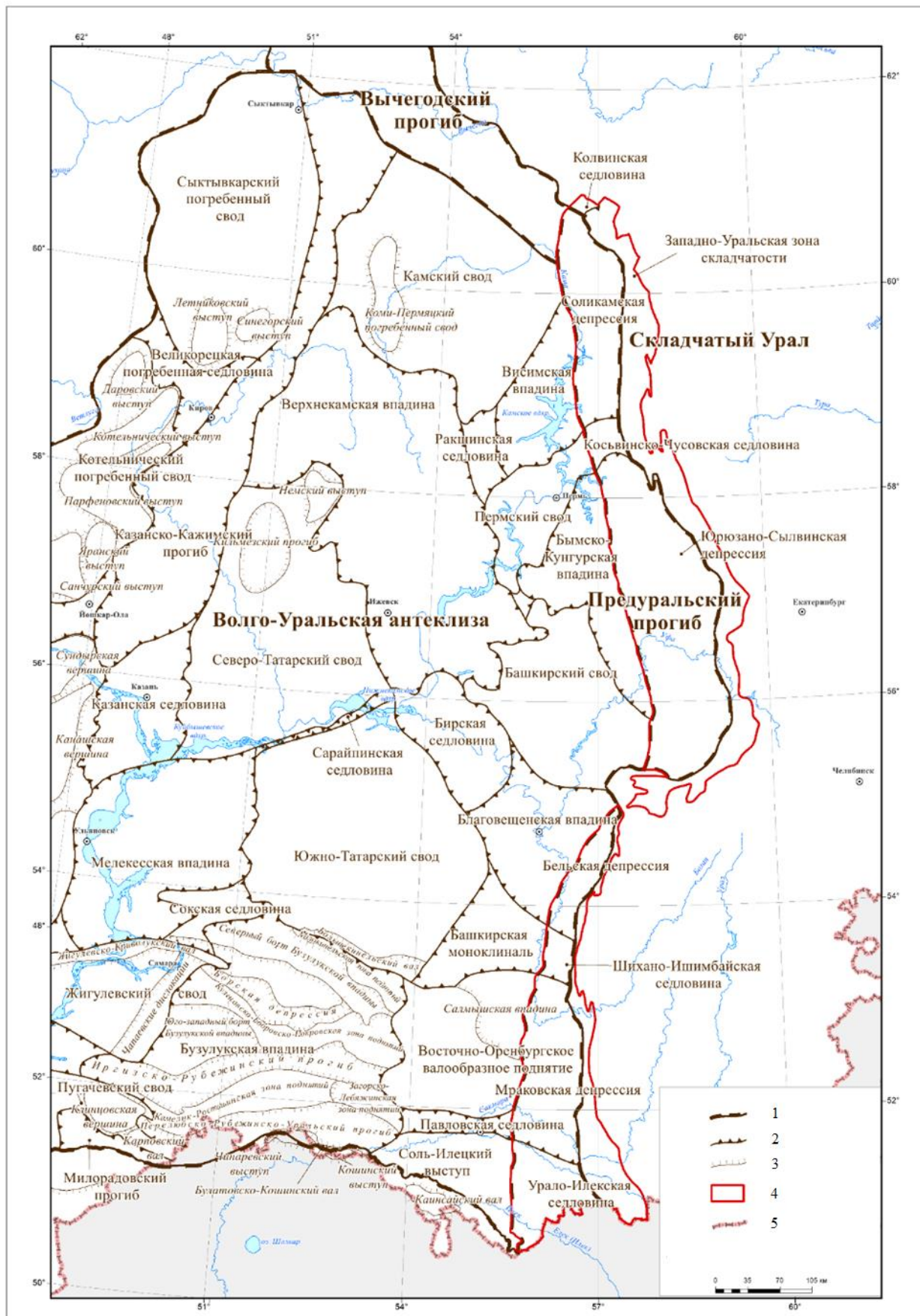


Рис. 1. Карта тектонического районирования Предуральского прогиба

Границы тектонических элементов: 1 - крупнейшие (надпорядковые), 2 - крупные (I порядка), 3 - средние (II порядка); 4 - контур работ; 5 - государственная граница РФ.

Палеоплатформенный комплекс на территории Предуральского прогиба начинается с отложений венда. В вендский этап произошла смена геотектонического режима с авлакогенного на плитный. Породы позднего венда развиты на всей территории прогиба, за исключением восточных районов Юрюзано-Айской впадины и представлены глинисто-алевролитовыми, песчаными, гравийными и галечниковыми породами.

Эмский этап осадконакопления начался после длительного континентального перерыва, включающего на большей территории (кроме юга Предуральского прогиба) силурийский, ордовикский периоды и начало девонского периода. Морской трансгрессии предшествовал размыв ранее сформированных отложений рифейского и вендского комплексов (на юге района также ордовикских и силурийских отложений) и древних кор выветривания.

Отложения эмско-нижнефранского карбонатно-терригенного комплекса отсутствуют в северной половине Соликамской депрессии и на большей части Юрюзано-Сылвенской депрессии, а его эйфельского и живетско-нижнефранского подкомплексов – также на значительной части Мраковской депрессии. В составе эмско-нижнефранского комплекса в южной части Соликамской впадины, в пределах Косьвинско-Чусовской седловины и в северной части Юрюзано-Сылвенской впадины преобладают терригенные отложения (прибрежные, дельтовые, баровые), включающие в эмском ярусе нижнего девона и живетском ярусе среднего девона пласты песчаных пород-коллекторов, в эйфельском ярусе преобладают карбонатные породы мелкого шельфа. В пределах Бельской и Мраковской депрессий терригенные отложения слагают преимущественно такатинский горизонт (в Бельской также койвенский) эмского подкомплекса, большая часть комплекса представлена карбонатными отложениями разного генезиса, в том числе рифовыми и склоновыми клиноформными отложениями.

Выше залегают отложения среднефранско-турнейского карбонатного комплекса, для которого характерен чрезвычайно расчлененный палеорельеф, включающий палеосводы (Оренбургский, Башкирский), изолированные палеоподнятия (Березниковское) и разделяющие их палеодепрессии (Инзеро-Усольский, Добряно-Вишерский палеопргогибы, Юрюзано-Айская палеовпадина). Карбонатная седиментация в среднефранско-турнейское время сопровождалась накоплением карбонатных пород разного генезиса: рифовых отложений, отложений изолированных отмелей, приливно-отливных равнин, отложений рифовых склонов и склонов палеосводов, включающих толщи карбонатных брекчий и депрессионных углеродистых карбонатно-кремнистых пород доманикового типа [Фортунатова и др., 2019]. Судя по характеру отложений, можно сделать вывод о прогибании

ложа прогиба на восток и замещении мелководных шельфовых пород на более глубоководные и далее глубоководные некомпенсированные отложения.

Выше залегают отложения верхнетурнейско-визейского терригенного комплекса, представленного, в основном, глинами и аргиллитами, алевролитами, песчаниками и глинистыми известняками. Верхневизейско-нижебашкирский и среднекаменноугольно-нижнепермский нефтегазоносные комплексы представлены в основном карбонатными породами на западном борту Предуральского краевого прогиба, на восточном борту нижнепермские отложения сложены флишем.

Этап пластичных деформаций Урала, особенно его заключительная часть - по сути совпадает с основным этапом в формировании тектонического строения и соответственно структуры Предуральского прогиба и Западно-Уральской складчато-надвиговой зоны. По мнению ряда исследователей, на современной территории Урала, начиная от среднекаменноугольной до позднепермской эпохи, имела место стадия «мягкой коллизии» - столкновение «дуга – континент», а также ранний этап «жесткой коллизии» - столкновение «континент – континент». На данном этапе происходило формирование Уральского орогена и складчато-надвигового пояса [Бондарева и др., 2023; Пучков, 2010].

Как результат, на территории современного Предуральского прогиба и Западно-Уральской складчато-надвиговой зоны формировался передовой прогиб. Под воздействием надвигавшегося с востока орогена происходило погружение его ложа, куда поступали продукты эрозии. На заключительной стадии этапа сформировалась зона передовых складок и надвигов Урала. Автохтонный комплекс залегают относительно спокойно, а аллохтонный - тектонически нарушен и имеет чешуйчато-надвиговое строение.

Этап хрупких деформаций Урала продолжался от позднепермского до триасового времени и включал в себя стадию поздней коллизии. Можно предположить, что основные сдвиговые деформации на территории Предуральского прогиба и Западно-Уральской складчато-надвиговой зоны происходили именно в это время.

Принципы выделения дизъюнктивных дислокаций в процессе проведения сейсмической интерпретации

Выделение тектонических нарушений на исследуемой территории Предуральского краевого прогиба – одна из задач структурной сейсмической интерпретации. Для её решения привлечено несколько источников:

1. результаты выделения дизъюнктивных дислокаций по сейсмическим разрезам;
2. априорная информация о нарушениях, основанная на детальном геологическом съемках;

3. результаты интерпретации данных гравirazведки;
4. схема тектонического районирования Предуральского прогиба.

При ранжировании нарушения поделены на три основных класса: надвиги (взбросы), сбросы и сдвиги. Каждый класс разрывов обладает различными морфологическими признаками и образуется при различных динамических условиях. Поэтому данная классификация является как морфологической, так и генетической.

Выделение и трассирование тектонических нарушений проводилось на основе анализа волновой картины и характера поведения отражающих горизонтов на временных разрезах на основе известных признаков [Мушин и др., 2001].

Сейсморазведка прежде всего является методом решения задач структурной геологии, поэтому хорошо изучены именно структурные особенности (морфология) тектонических нарушений. Можно выделить следующие структурные (кинематические) характеристики:

1. **Зоны разрывов корреляции отражающих горизонтов**, которые чаще всего проявляются в виде потери их прослеживаемости. При этом варьирование протяженности этих зон зависит от ранга и масштаба разломов, сопутствующих им зон деформации и дробления горных пород, присутствия систем макротрещиноватости и других сейсмогеологических факторов.

2. **Наличие пространственных (X , Y , Z) смещений отражающих горизонтов**. Данный критерий основан на известном постулате М.В. Гзовского [Гзовский, 1975], согласно которому не существует безамплитудных дизъюнктивов, как геологических границ. Однако вертикальная разрешающая способность сейсморазведки не всегда позволяет зафиксировать смещение горизонтов, и малоамплитудные нарушения могут быть пропущены.

3. **Резкое изменение углов наклона отражающих горизонтов**. Этот критерий обусловлен перемещениями по различным векторам по плоскостям разломов фрагментов геологических тел с различными механо-прочностными свойствами. В этих случаях необходимо учитывать так же горизонтальную разрешающую способность сейсморазведки, обуславливающую сглаживание углов наклона отражающих горизонтов.

Помимо структурных (морфологических) характеристик, тектонические нарушения выделяются по динамическим особенностям сейсмических волн, а именно:

1. **Резкое изменение амплитуд сейсмических волн в зоне тектонического нарушения**. Этот признак, как и зона разрыва корреляции сейсмических горизонтов, обусловлен нарушением сплошности геологической среды. В зависимости от внутренней структуры и вещественного состава горных пород в зонах тектонических нарушений характер амплитуд сейсмических волн может быть различным. Чаще всего этот признак проявляется

как ослабление динамики сейсмической записи отражающих элементов.

2. **Резкое снижение (вплоть до потери) когерентности сейсмической записи.** Этот признак является наиболее устойчивым, поскольку обусловлен перерывом в прослеживании сейсмических горизонтов. Одной из причин аномального поведения когерентности сейсмической записи в области малоамплитудных тектонических нарушений служит деструктивная интерференция отражённых и дифрагированных волн.

3. **Понижение частоты и амплитуды отражений.** Чаще всего это связано с частичным поглощением падающего сейсмического сигнала вследствие изменения типа слоистости в зоне дробления пород в тектонических нарушениях.

4. **Регистрация в зонах тектонических нарушений волн разного типа.** На контакте ненарушенного и нарушенного геологического блоков появляются дифрагированные, обменные, преломленные и другие волны. В некоторых случаях плоскость разлома сама может являться отражающей или преломляющей границей, а края горизонтов, примыкающих к зоне тектонического нарушения, могут обуславливать появление дифрагированных волн.

При анализе динамических характеристик сейсмического разреза на предмет выявления тектонических нарушений и зон трещиноватости необходимо иметь ввиду, что их проявления связаны не с абсолютным уровнем сейсмоакустических характеристик, а со степенью их контрастности в исследуемых интервалах разреза.

Выделение дизъюнктивных дислокаций и их прослеживание в межпрофильном пространстве по территории Предуральского краевого прогиба

Выделение разломов проводилось наряду с корреляцией отражающих горизонтов по сейсмическим профилям вручную по следующим признакам: 1) наличие в волновом поле закономерно расположенных смещений осей синфазности (самый распространенный признак), 2) потере прослеживаемости отражающих горизонтов, 3) наличие изменений углов наклона отражающих горизонтов, 4) резкому изменению амплитуд сейсмических волн, 5) резкому снижению (вплоть до потери) когерентности сейсмической записи, 6) понижению частоты разреза, 7) присутствию волн других типов (дифрагированных, обменных, преломленных).

Построение схемы разломов осложнялось наличием крайне неравномерной сети профилей, а также огромной протяженностью района работ и сложностью тектоники региона. Там, где плотность сейсморазведки выше, разломы (в плане) проработаны более детально, где сейсмика реже, или на отдельных участках вообще отсутствовала – разломы проводились с учетом геологической и тектонической карт на данной территории и построенных в процессе проведения работ структурных карт. Всего проработано более 25 000 пог. км собранных и

совместно проинтерпретированных сейсмических профилей МОГТ-2D.

Большую роль при составлении тектонической модели района работ имеет возраст разломов. По мнению ряда исследователей [Бондарева и др., 2023], формирование разрывных нарушений взбросового типа обусловлено коллизионными процессами со стороны Уральского орогена, продолжавшимися со среднекаменноугольного и до кунгурского времени включительно. После кунгурского времени в сочленении Предуральского прогиба и зоны передовых складок Урала транспрессивный геодинамический режим обусловил изменение ранее сформированных (в условиях погружения и растяжения осадочного ордовикско-раннекаменноугольного комплекса) разрывных нарушений сбросов во взбросы, которые к концу коллизионного этапа (пермское время) преобразовались в надвиговую систему.

Сдвиги имеют преимущественно субвертикальные поверхности смещений и раскалывают одну или несколько тектонических чешуй на части, которые перемещаются на запад на различные расстояния. Время их возникновения более позднее, чем возникновение самих чешуй [Казанцев и др., 1999], или синхронным с поздним этапом формирования надвигов, так как режим транспрессии сочетает в себе условия сдвига и сжатия.

Общее представление о размерах и строении Предуральского краевого прогиба и его крупных элементов получено по результатам комплексной интерпретации грави- и магниторазведки по методике, основанной на анализе соотношений форм гравитационных и магнитных аномалий (рис. 2).

По результатам комплексной интерпретации геолого-геофизических материалов (преимущественно структурной интерпретации сейсморазведочных данных МОГТ-2D) построена схема тектонических нарушений по территории Предуральского прогиба (рис. 3, 4). Кроме этого учтена «Схема тектонического районирования Предуральского прогиба и прилегающей территории Волго-Уральской антеклизы и Уральского складчато-надвигового сооружения», которая в свою очередь опирается на геологические карты 3-его поколения масштаба 1:1 000 000 и на схему тектонического районирования масштаба 1:1 000 000, листы М-40, N-40, O-40 и P-40). На схеме отражено пересечение поверхностей разломов с кровлей карбонатно-терригенных среднекаменноугольных отложений.

На востоке по всей территории работ выделен и прослежен Западно-Уральский надвиг (ЗУН), являющийся западной границей зоны передовых складок и надвигов Урала. ЗУН представляет собой систему разломов, иногда кулисообразных, имеющих простирание параллельное Уральской складчатой системе. До сих пор выделение западной границы Уральской складчато-надвиговой зоны неоднозначно, имеется несколько вариантов ее проведения: 1) по восточной границе развития моласс; 2) по западной границе складок

уральского типа; 3) по фронту наиболее крупных шарьяжно-надвиговых структур; 4) по останцам позднегерцинских моласс в Западно-Уральской складчатой зоне; 5) под аллохтоном шарьяжно-надвиговых зон, где автохтон еще слабо дислоцирован и входит в состав прогиба [Александрова и др., 2019].

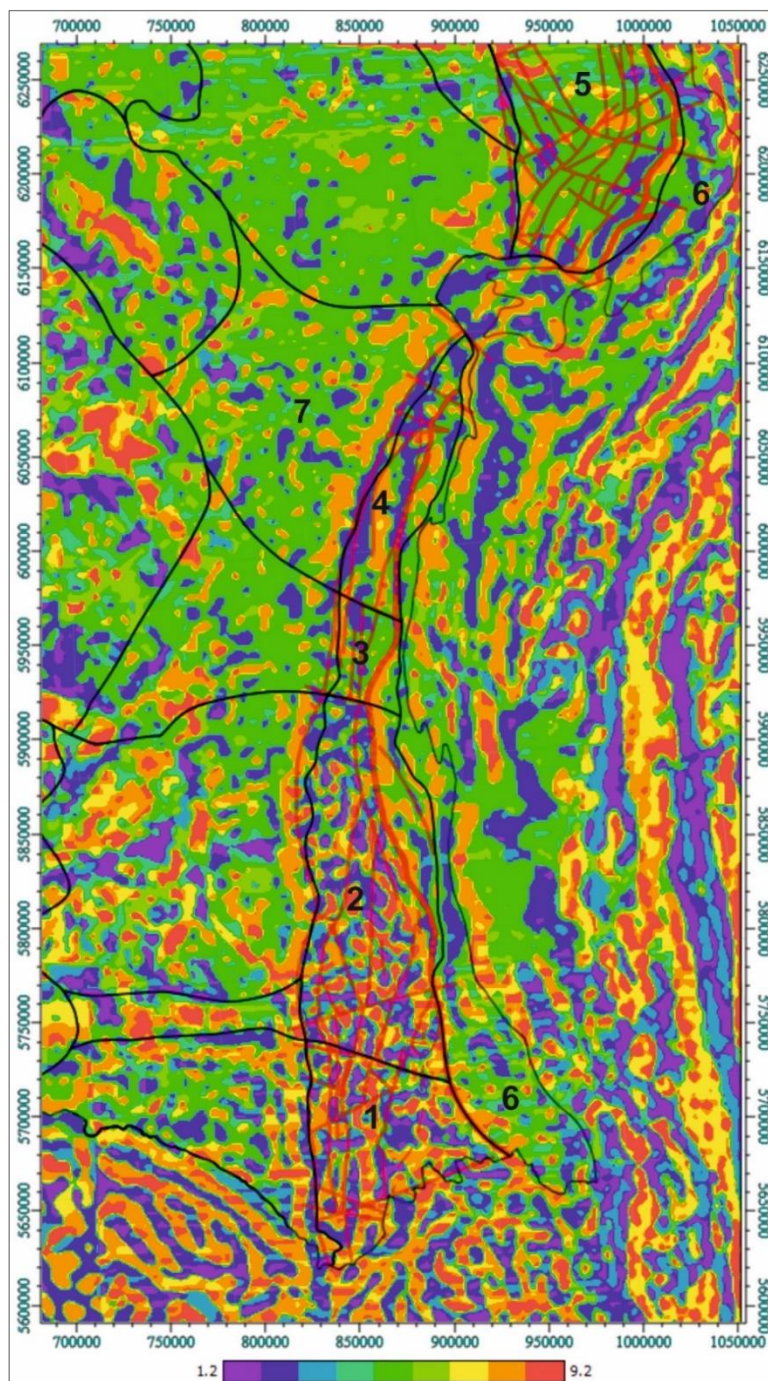


Рис 2. Карта комплексной интерпретации данных грави- и магниторазведки в пределах южной части Предуральского краевого прогиба

Цвета́ми показаны классы изверженных пород от 1 до 9. Цифрами указаны структуры: 1 - Урало-Илецкая седловина, 2 - Мраковская депрессия, 3 - Шихано-Ишимбайская седловина, 4 - Бельская депрессия, 5 - Юрюзано-Сылвенская депрессия, 6 - Западно-Уральская складчато-надвиговая зона, 7 - Благовещенская впадина.

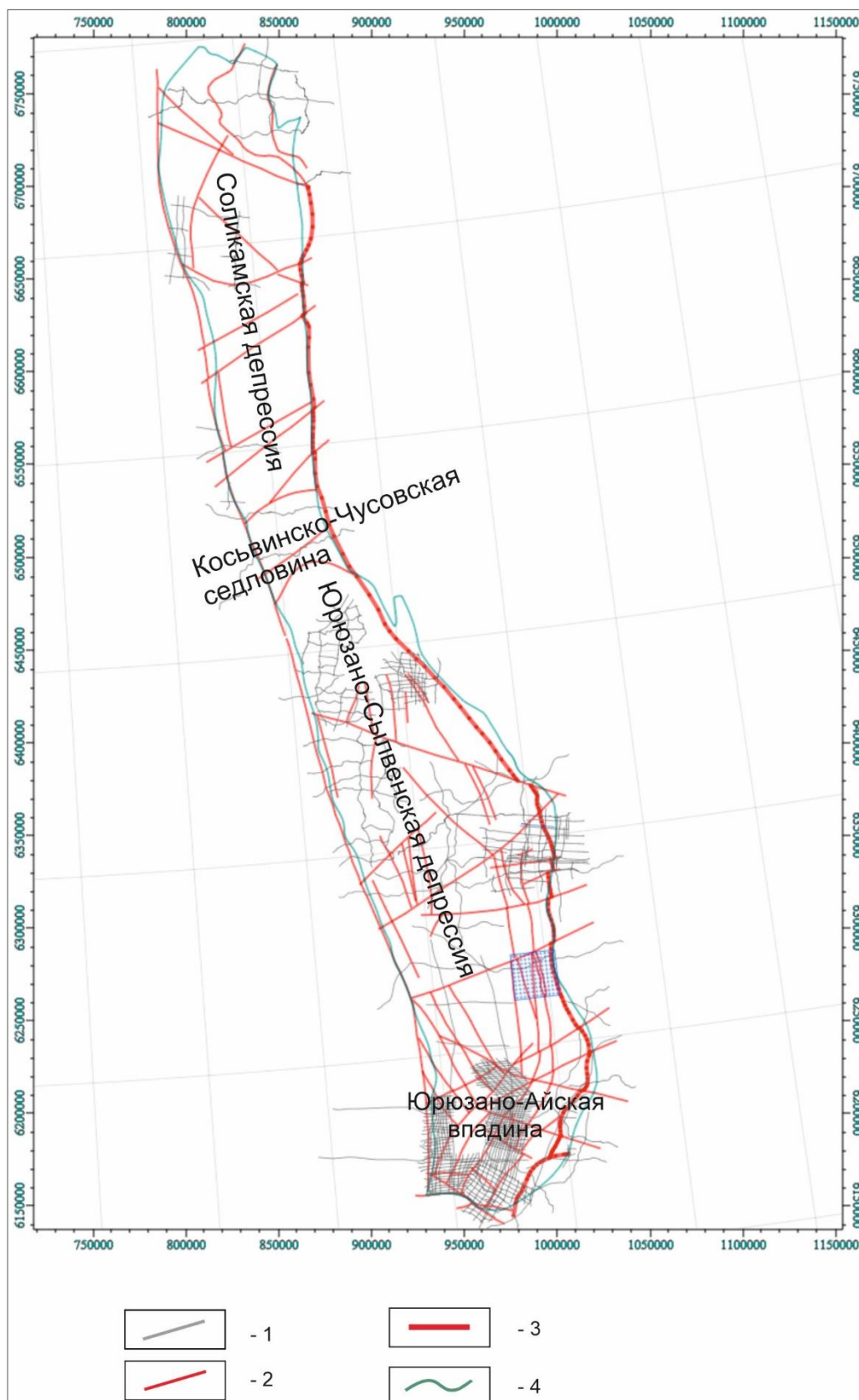


Рис. 3. Схема тектонических нарушений средней части Предуралья (Соликамская, Юрюзано-Сылвенская и Юрюзано-Айская впадины, Косьвинско-Чусовская седловина)
1 - сейсмические профили; 2 - разрывные нарушения; ЗУН - надвиг (пологий взброс), западная граница зоны; граница полигона работ.

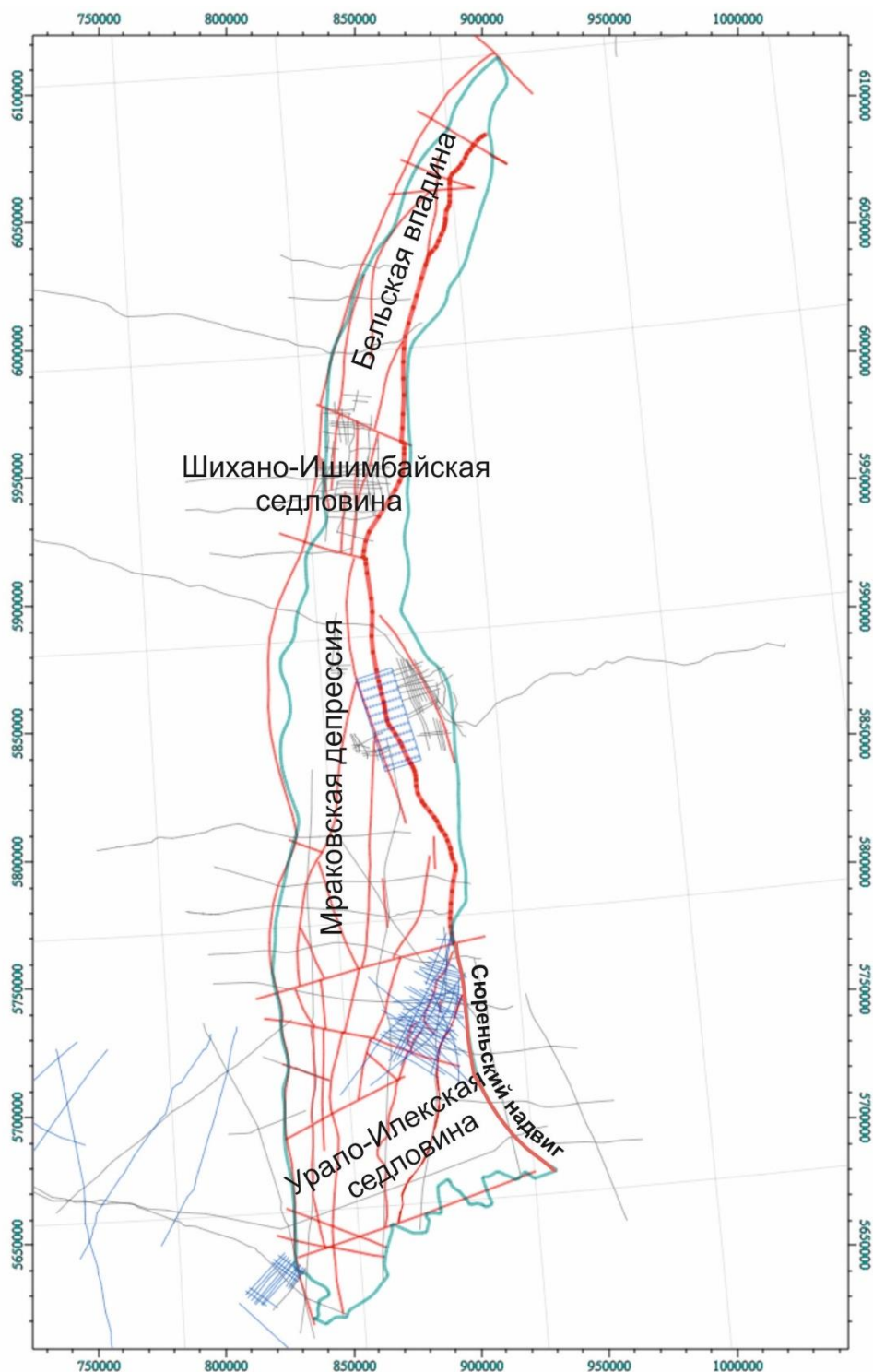


Рис. 4. Схема тектонических нарушений южной части Предуралья (Бельская и Мраковская впадины, Шихано-Ишимбайская и Урало-Илекская седловины)
Усл. обозначения см. на рис. 3.

При проведении описываемых работ разломы проводились по фронту наиболее крупных шарьяжно-надвиговых структур (где это возможно). Следует отметить, что складки (валы) и пологие взбросы местами наблюдаются и западнее ЗУН.

Особенностью взбросов, взбросо-надвигов и надвигов в зоне сочленения

Предуральского прогиба и Западно-Уральской складчато-надвиговой внешней зоны является практически повсеместное падение сместителей на восток (или юго-восток, как на юге Юрюзано-Айской впадины) в сторону осевой зоны Урала. Если надвиги сопровождаются складками, осевые поверхности антиклиналей и синклиналей также имеют наклоны на восток. В восточном же направлении происходит усиление степени интенсивности дислокаций. Эти дислокации и сопряженные с ними антиклинальные и синклинальные складки разного масштаба образовались за счет горизонтальных сил сжатия со стороны Урала.

В восточной части краевого прогиба слои, принадлежащие автохтону, обычно находятся в субгоризонтальном залегании, а в граничащей с ней Западно-Уральской складчато-надвиговой зоне автохтон часто представлен более сложными, в том числе складчатыми формами.

На рис. 5-10 приведены примеры сочленения восточной части Предуральского краевого прогиба и Западно-Уральской складчато-надвиговой зоны с выделением ЗУН.

Сочленение южной части Предуральского краевого прогиба с передовыми складками Урала проводится по Сюреньскому взбросо-надвику. Западная часть фрагмента профиля 05060310 (см. рис. 5) (до Сюреньского надвига) пересекает южную часть Мраковской депрессии и представляет собой автохтонный блок. Для девонских и каменноугольных отложений осадочного чехла характерно ступенчатое погружение на восток. Профиль пересекает Ирекскую структуру, которая в свою очередь осложнена двумя малоамплитудными взбросами субмеридионального направления.

Фрагмент профиля 0804004 (см. рис. 6) пересекает северную часть Мраковской депрессии, зону передовых складок Урала и Западно-Уральскую зону. Палеозойские породы автохтона представляют собой моноклинал с небольшим падением на восток. Вертикальная амплитуда смещения по плоскости ЗУН составляет примерно 700 мс. Зону передовых складок Урала профиль пересекает не вкрест простирания, а с северо-запада на юго-восток.

На профиле 14 (см. рис. 7), проходящем в южной части Юрюзанской впадины (Юрюзано-Айская впадина), зона Западно-Уральского разлома представлена системой чешуй, связанных подошвенным надвигом (детачментом). Вертикальная амплитуда смещения по плоскости взбросо-надвига составляет примерно 400 мс. На поднятом крыле сформирована ассиметричная взбросо-складка с более крутым фронтальным и пологим тыловым крылом. Сложной системой чешуй («чешуйчатый веер») представлена зона надвига на профиле Михайловский (см. рис. 8).

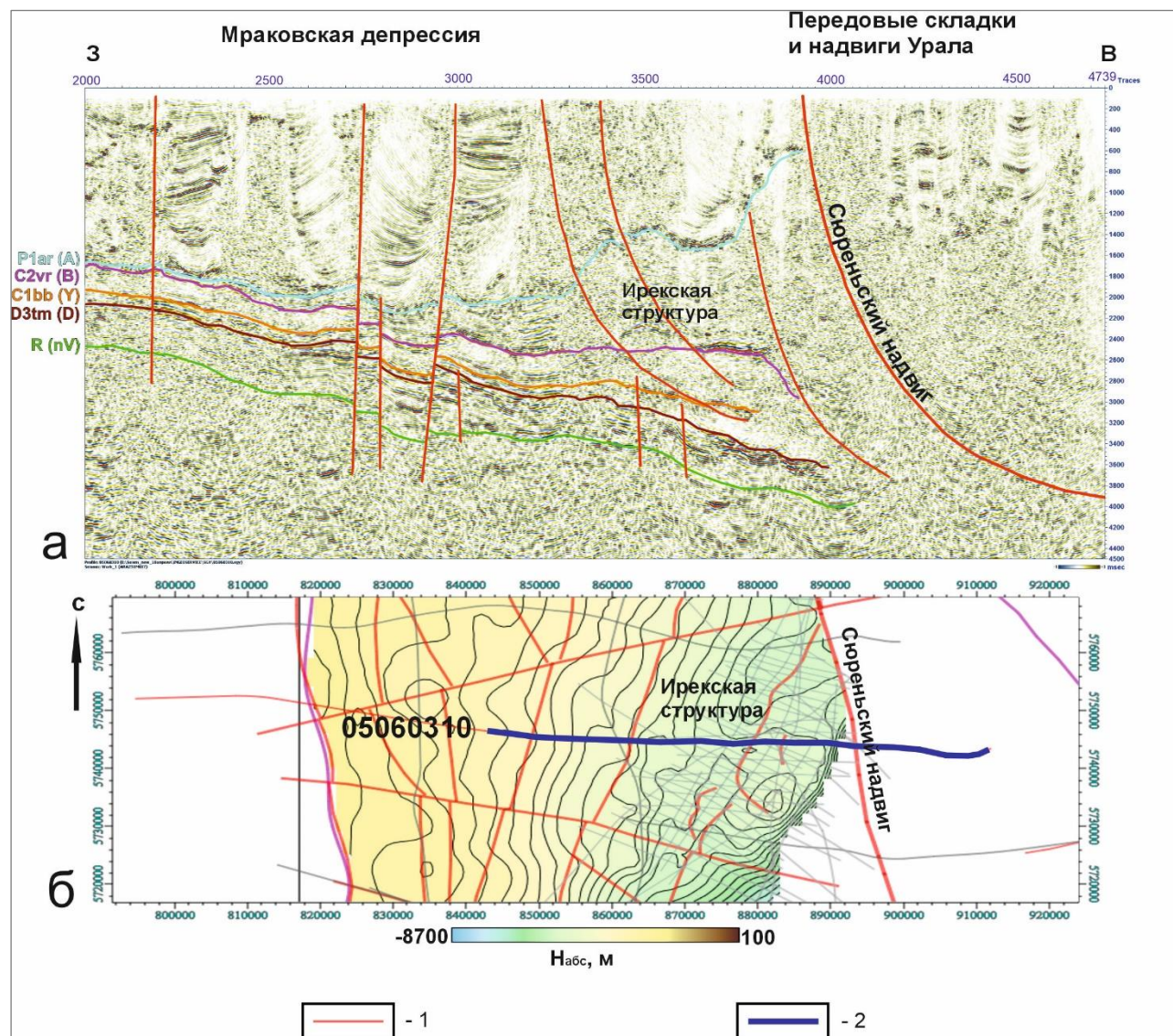


Рис. 5. Фрагмент профиля 05060310 (а) и структурная карта по отражающему горизонту C2vr (б)

1 - разрывные нарушения; 2 - положение сейсмического профиля. P1ar (A) - кровля нижнепермских карбонатных отложений артинского яруса, C2vr (B) - кровля терригенных отложений верейского горизонта среднего карбона, C1bb (Y) - кровля терригенных отложений бобръяковского горизонта нижнего карбона, D3tm (D) - кровля терригенных отложений тиманского горизонта верхнего девона, R (nV) - кровля отложений рифейской системы.

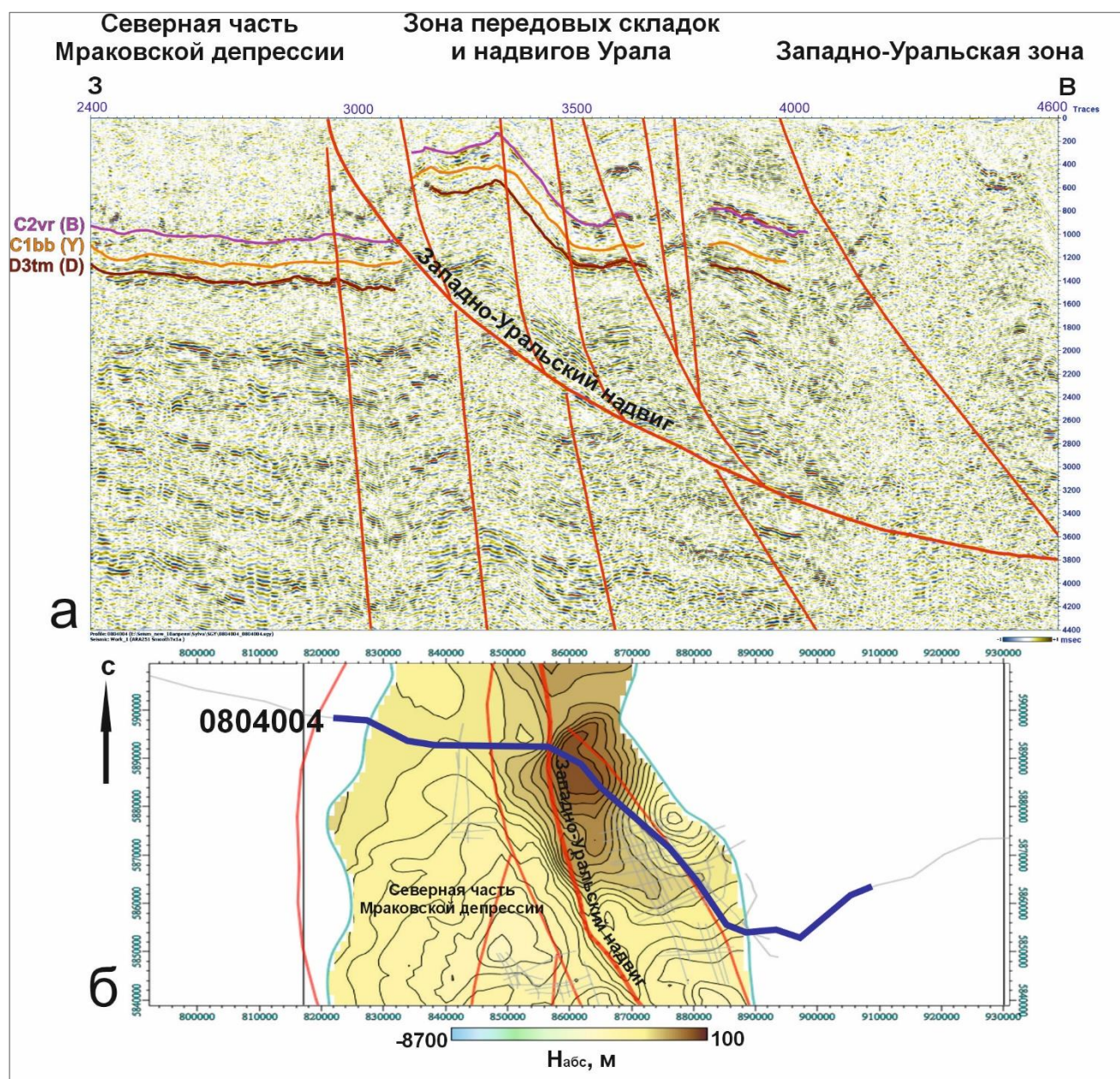


Рис. 6. Фрагмент профиля 0804004 (а) и структурная карта по отражающему горизонту C2vr (б)

Усл. обозначения см. на рис. 5.

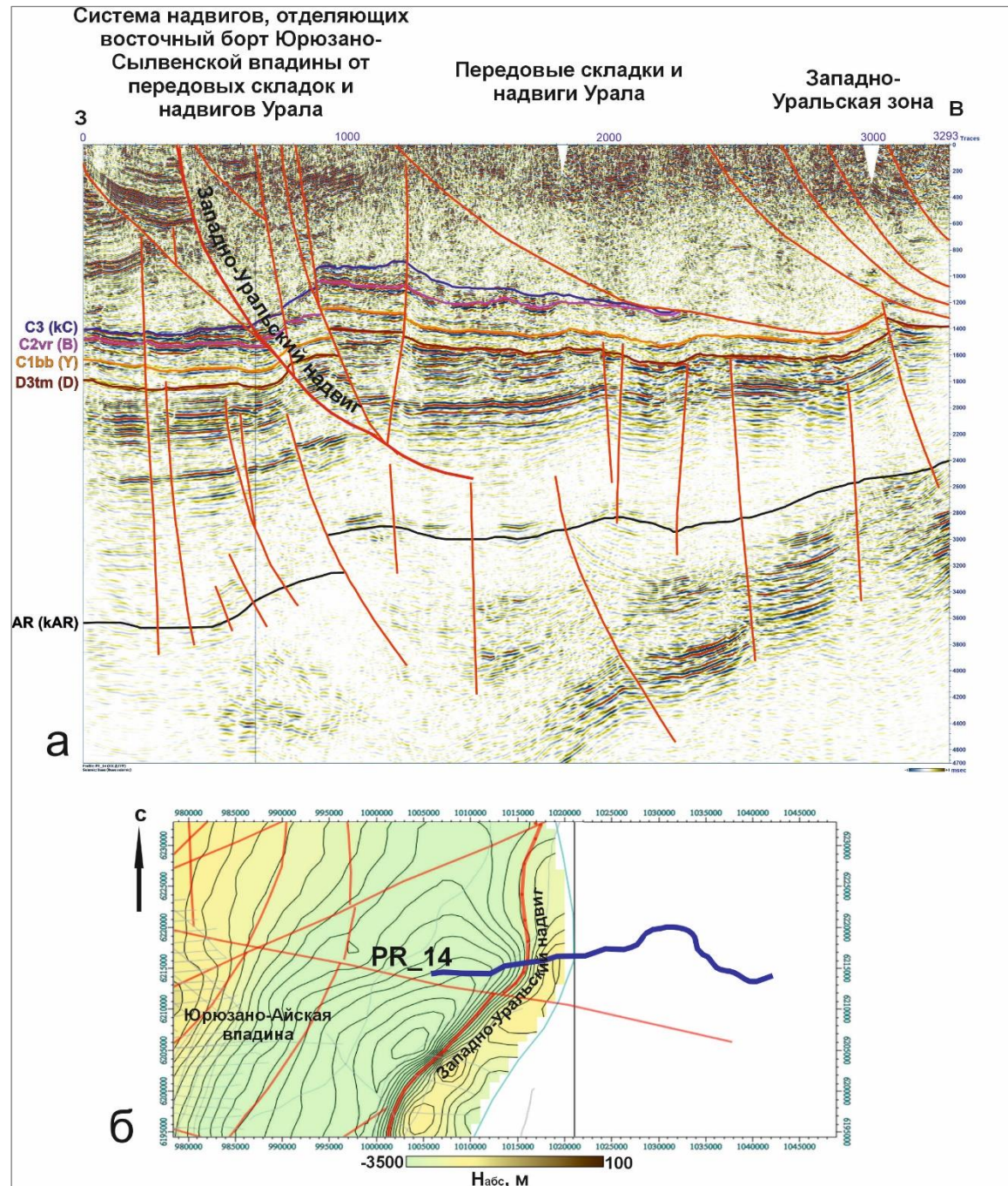


Рис. 7. Профиль PR-14 (а) и структурная карта по отражающему горизонту C2vr (б)
C3 (kC) - кровля карбонатных отложений каменноугольной системы, AR (kAR) - кровля кристаллического фундамента.
Остальные усл. обозначения см. на рис. 5.

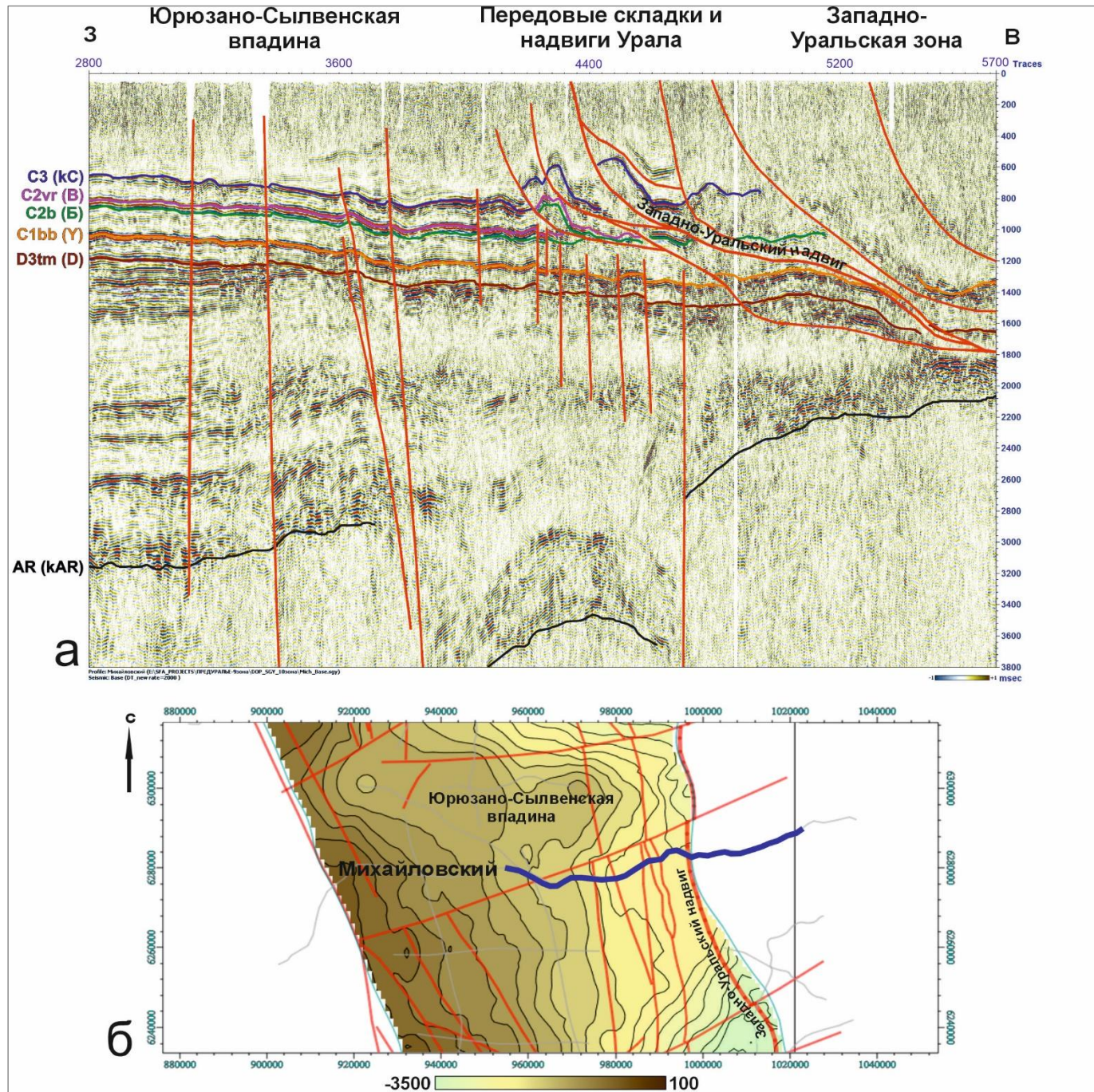


Рис. 8. Фрагмент профиля Михайловский (а) и структурная карта по отражающему горизонту C2vr (б) C2b (Б) - кровля карбонатных отложений среднего карбона. Остальные усл. обозначения см. на рис. 5 и 7.

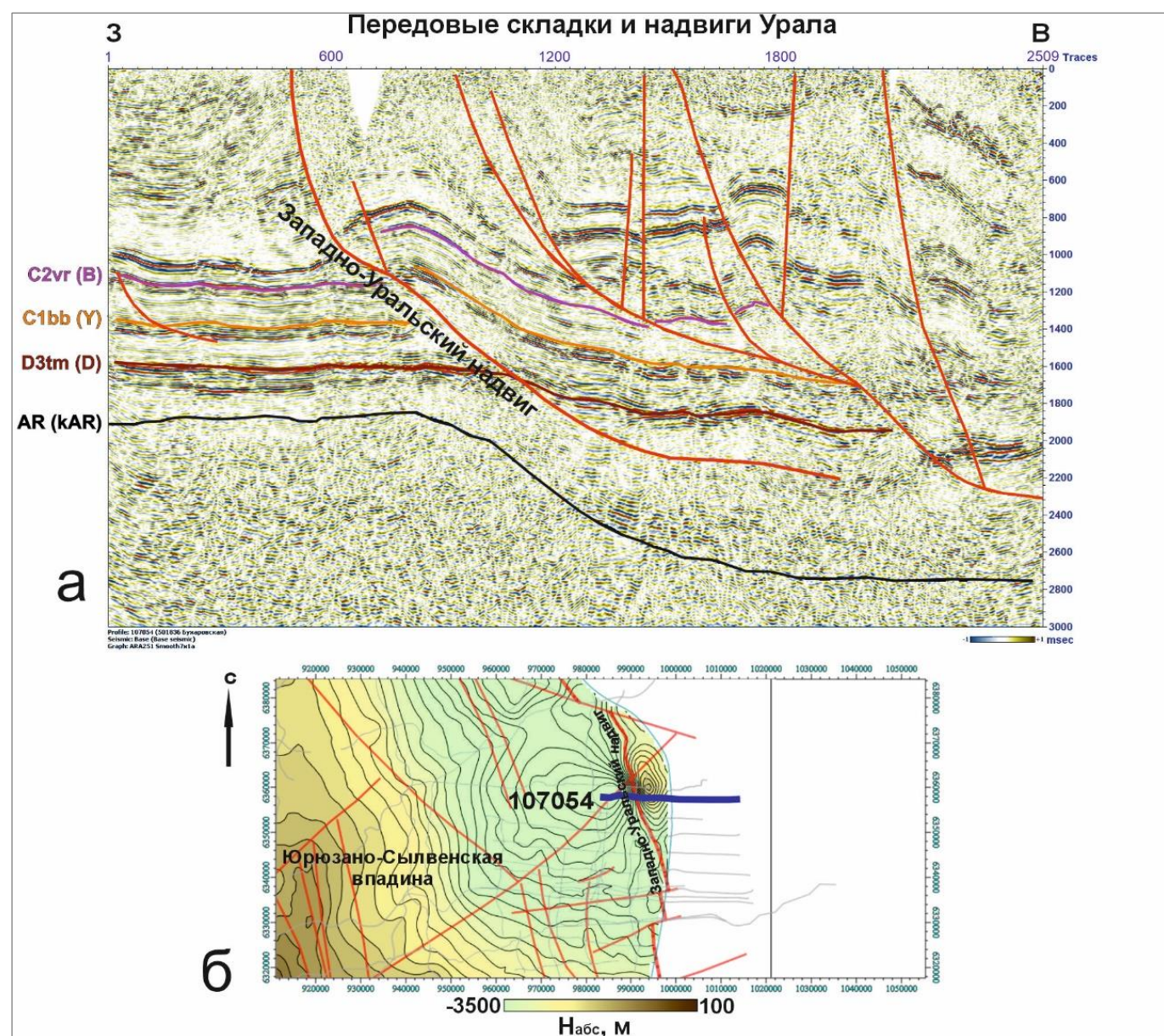


Рис. 9. Профиль 107054 (а) и структурная карта по отражающему горизонту C2vr (б) Усл. обозначения см. на рис. 5 и 7.

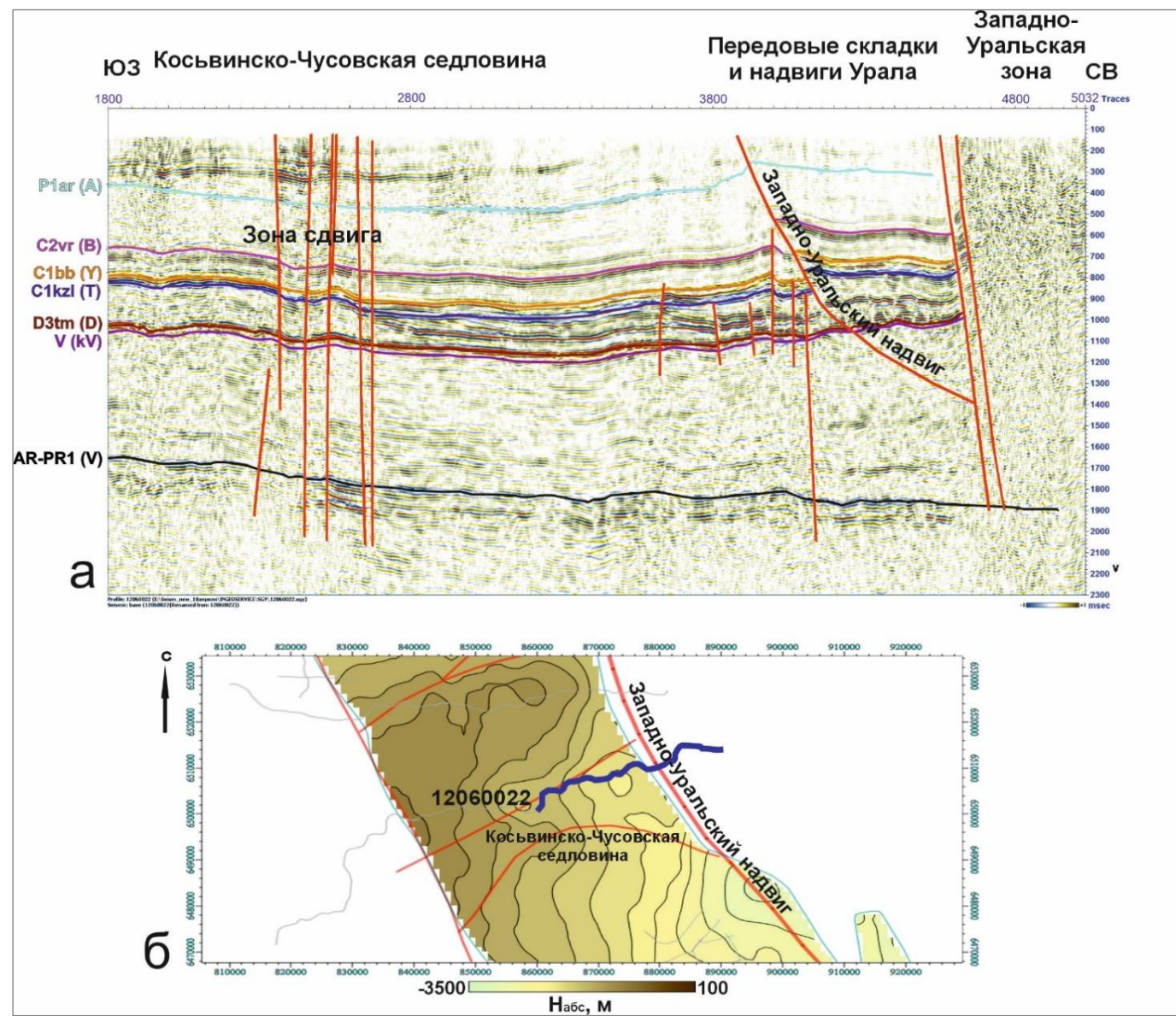


Рис. 10. Профиль 12060022 (а) и структурная карта по отражающему горизонту C2vr (б)

C1kzl (T) - кровля карбонатных отложений турнейского яруса кизилковского горизонта нижнего карбона, V (kv) - кровля терригенных отложений вендской системы, Ar-PR1 (V) - кровля кристаллического фундамента нижнепротерозойского возраста. Остальные усл. обозначения см. на рис. 5.

В северной части Юрюзано-Сылвенской впадины на профиле 107054 (см. рис. 9) хорошо видна антиклинальная складка (А). В плане такие складки могут формировать систему валов. Вертикальная амплитуда смещения по плоскости ЗУН составляет примерно 300 мс. Профиль 120600022 пересекает с запада на восток Косьвинско-Чусовскую седловину. На фрагменте профиля (см. рис. 10) виден надвиг, разделяющий восточную часть седловины и область передовых складок и надвигов Урала. Она довольно узкая и слабодислоцированная на данной территории, занимает приблизительно 10 км. Вертикальная амплитуда смещения по плоскости разлома составляет примерно 130 мс. Расположенная восточнее за областью передовых складок и надвигов Западно-Уральская зона на данном профиле характеризуется хаотической сейсмической записью и представляет трудности для корреляции. В районе трасс 2300–2700 профиль пересекает и частично идет вдоль сдвига субширотного направления. С целью картирования сдвигов на сейсмических разрезах, привлекались данные тектонических карт и гравиразведки. На разрезе область сдвига характеризуется наличием целой группы малоамплитудных субвертикальных разломов (сбросов, взбросов).

Наиболее детально выделены разломы по территории Юрюзано-Айской впадины, где имеют распространение разрывные нарушения нескольких типов: региональные надвиги, к которым приурочены фронтальные антиклинальные складки; сдвиги северо-восточного и северо-западного простирания, которые могут осложнять надвиги; вертикальные разломы, вероятно, более раннего заложения, чем надвиги. Также присутствуют более древние разломы, нарушающие сплошность отложений рифея и фундамента. Иногда они унаследованно проявляются и в более молодых отложениях.

Надвиги, выделенные по данным геолого-геофизических исследований в пределах Юрюзано-Айской впадины, прослеживаются параллельно Уралу и разделяют впадину на тектонические чешуи.

На сейсмических профилях выделены надвиги субмеридионального простирания, прослеживающиеся параллельно складчатому Уралу: Таймеевско-Емашевский, Мечетлинский, Месягутовский, Юкаликулевский, Артинский, Кисейкский (Лаклинский), Апутовский, Сосновский. Надвиги разделяют восточную и юго-восточную части Юрюзано-Сылвенской впадины на тектонические чешуи, к фронтальным частям которых часто приурочены антиклинальные складки.

В связи отсутствием достаточной (поисковой) сети сейсмопрофилей для уверенного прослеживания и картирования всех надвигов на территории Юрюзано-Сылвенской депрессии закартированы следующие надвиги (они использовались при картопостроении): Месягутовский (прослежен более чем по 20 профилям), Юкаликулевский (по 15 профилям),

Артинский, Кисейский (Лаклинский), Апутовский. Для уточнения положения надвиговых дислокаций в пространстве использовались результаты интерпретации данных гравirazведки и работа Ю.В. Казанцева [Казанцев и др., 1991].

Разломы, находящиеся западнее, дальше от складчатой системы Урал, на сейсмических профилях смотрятся более «крутыми», и их можно классифицировать как пологие взбросы или взбросо-надвиги.

На северо-западе от структурного комплекса Каратау также имеются надвиги широтного простирания, но за неимением в этом районе достаточной сетки сейсмических профилей, возможности их уверенно откартировать нет. На самом Каратау субширотные надвиги закартированы геологической съемкой.

Если надвиги на разрезах имеют значительную амплитуду смещения разрываемых слоев, то сдвиги на разных профилях отождествляются с трудом, поэтому для уточнения простирания таких разломов в плане необходимо использовать результаты интерпретации данных гравirazведки.

На рис. 11 и 12 приведены результаты проведенной работы, а итоговая схема разломной тектоники показана на рис. 13. На схеме представлены разломы как выделенные по сейсмическим профилям, так и проведенные или уточненные с использованием других источников. Надвиги на востоке исследуемого района (красного цвета) закартированы по сейсмическим профилям. Разломы показаны на приведенных рисунках. Сдвиги (красный цвет) выделены с использованием материалов высокоточной гравirazведки. Разлом, ограничивающий Каратау, как и разломы, ограничивающие отдельные каратауские чешуи, перенесены с геологической карты.

Основные закономерности размещения залежей нефти и газа указывают, что в пределах Предуральского прогиба открытые месторождения приурочены к локальным поднятиям. Кроме того, в восточных территориях Предуральского прогиба (см. рис. 5-12) видно, что все комплексы палеозоя часто формируют ярко выраженную принадвиговую антиклинальную складку, что может быть интересно с точки зрения выделения залежей углеводородов, так как амплитуда структур в данной зоне достигает 300 м.

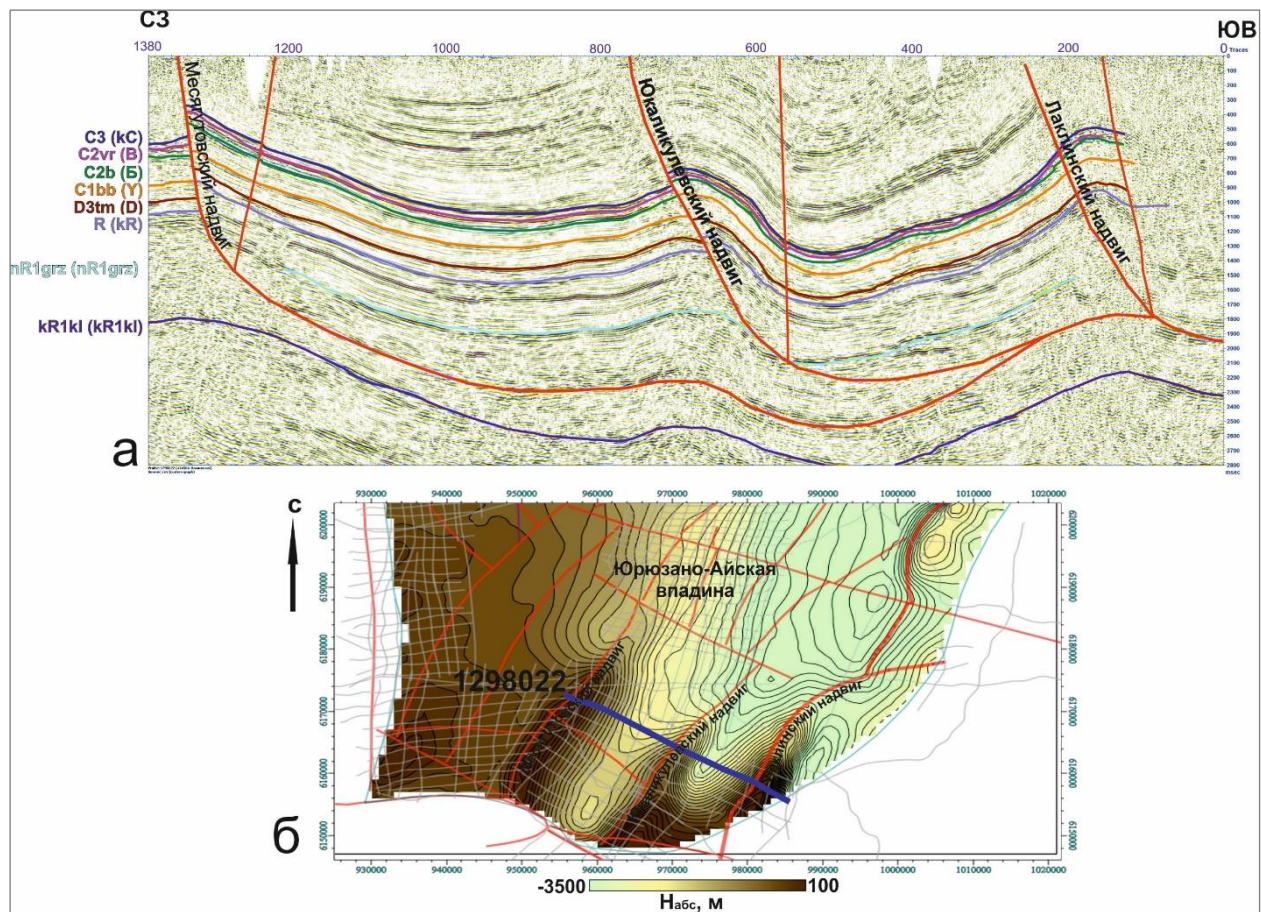


Рис. 11. Месягутовский, Юкаликулевский и Лаклинский (Апутовский) надвиги на сейсмическом профиле 1298022 (а) и структурная карта по отражающему горизонту C2vr (б)

C2b (Б) - кровля карбонатных отложений среднего карбона, R (kR) - кровля терригенно-карбонатных отложений рифейской системы, nR1grz (nR1grz) - подошва отложений грязнушинской свиты нижнего рифея, kR1kl (kR1kl) - кровля отложений калтасинской свиты нижнего рифея. Остальные усл. обозначения см. на рис. 5 и 7.

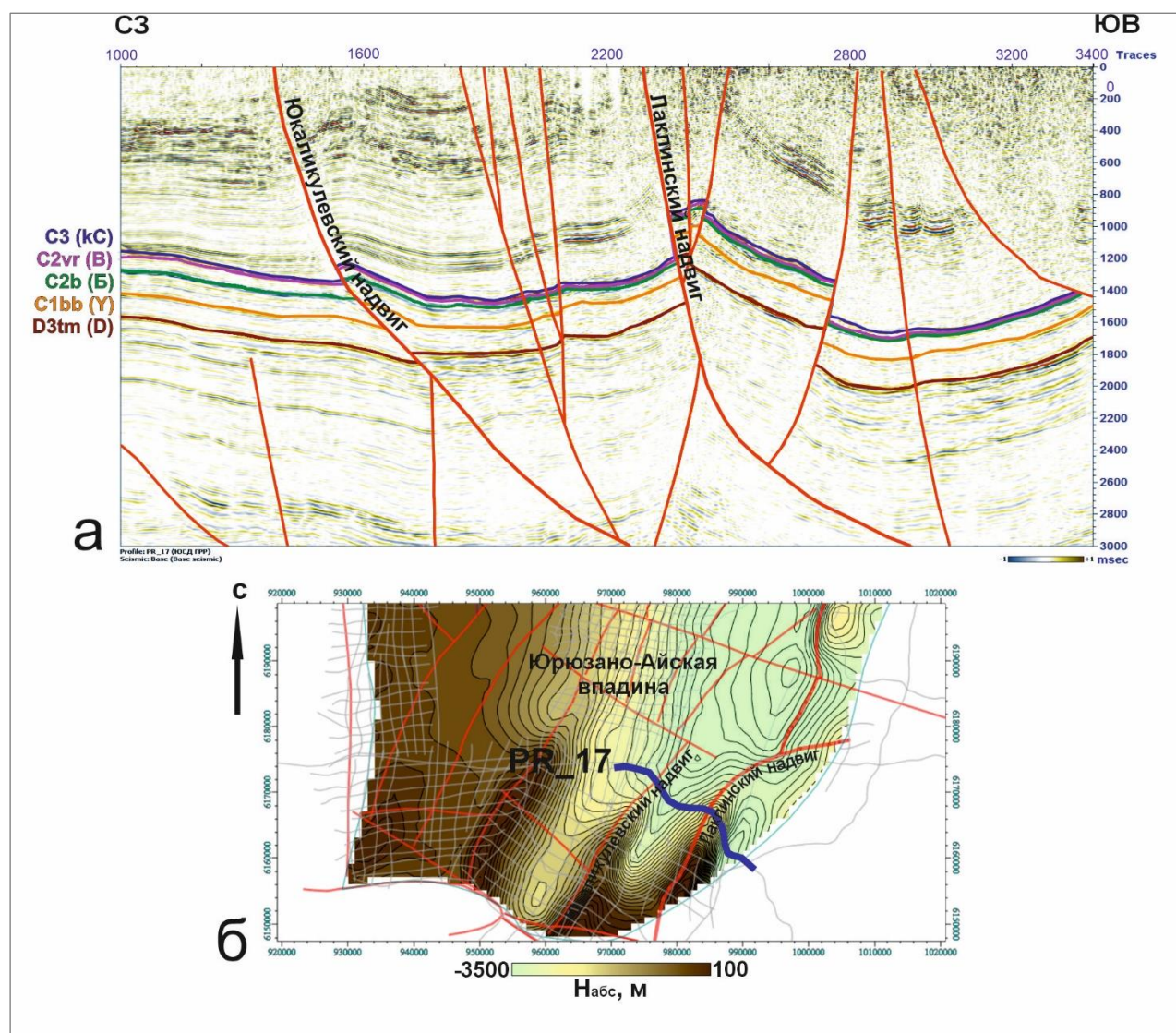


Рис. 12. Юкаликулевский и Лаклинский надвиги на фрагменте сейсмического профиля PR-17 (а) и структурная карта по отражающему горизонту C2vr (б)

C3 (kC) - кровля карбонатных отложений каменноугольной системы, C2b (Б) - кровля карбонатных отложений среднего карбона. Остальные усл. обозначения см. на рис. 5.

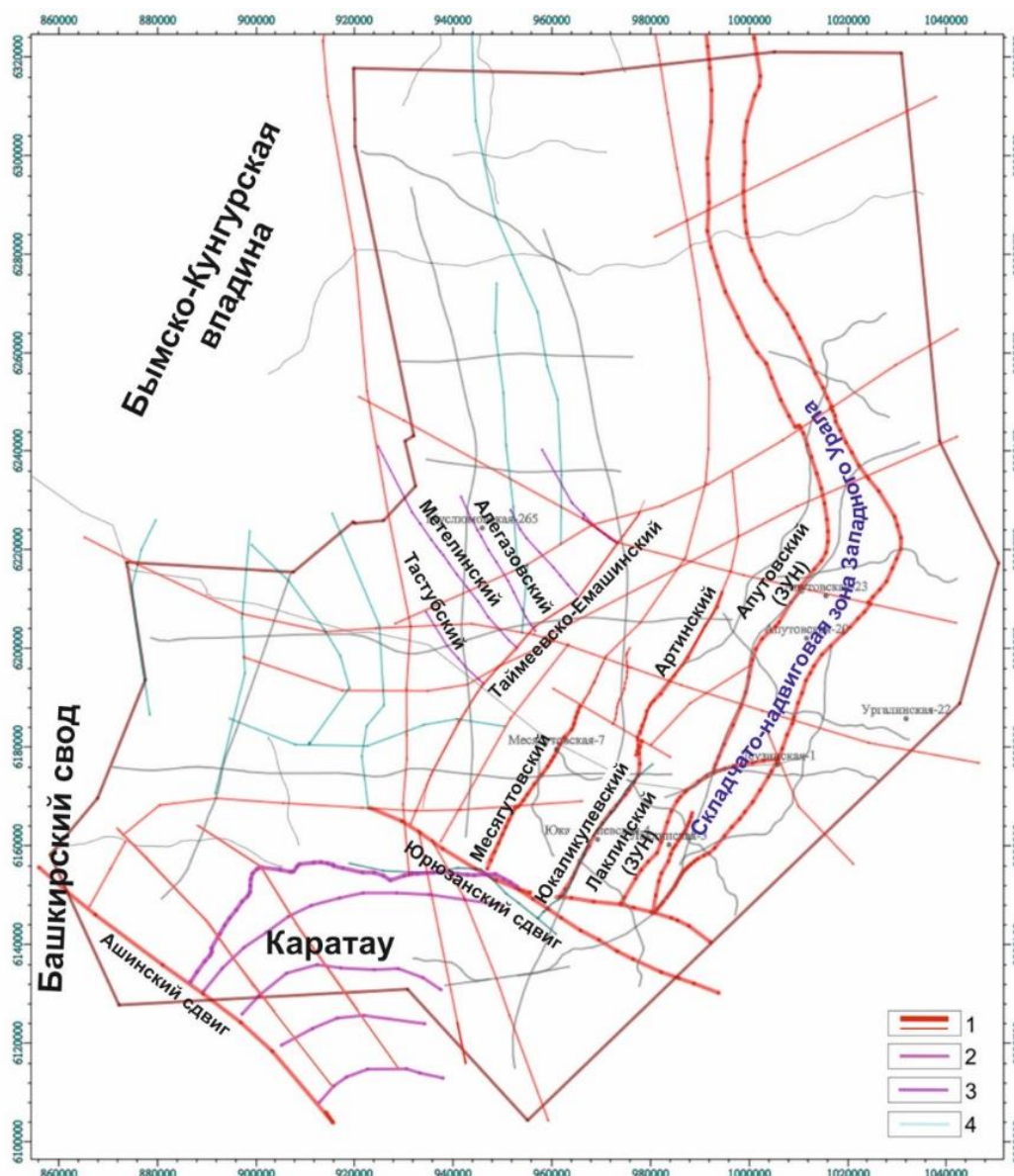


Рис. 13. Схема распространения линий разрывных нарушений по территории Юрюзано-Сылвенской депрессии

1 - разломы, выделенные по результатам интерпретации сейсмических данных, 2 - линии разрывных нарушений, полученные по результатам интерпретации данных гравirazведки, 3 - крупные линии нарушений, снятые с геологической карты, 4 - полученные из других отчётов и в результате изучения различных литературных источников.

Выводы

В заключение следует отметить, что в формировании современного облика Предуральяского краевого прогиба принимали участие разрывные нарушения различной конфигурации и генезиса, а также древние разломы, достигающие фундамента, и нарушения сбросового типа, образовавшиеся в условиях погружения и растяжения осадочного комплекса (O–C₂). Но, несомненно, самую яркую роль в структурообразовании сыграли коллизионные процессы со стороны Палеоуральского орогена. В обстановке бокового сжатия и сдвига в пермское время формировались взбросы, надвиги, сдвиги и сопряженные с ними пликативные

структуры, происходила активизация и, возможно, изменение конфигурации более древних разрывных нарушений.

Литература

Александрова Т.В., Яковлев Ю.А., Шибанова А.М., Макарова С.В. Вероятностная оценка нефтегазового потенциала перспективных территорий складчато-надвиговой зоны Среднего Урала // Актуальные проблемы нефти и газа. - 2019. - Т. 25. - № 2. - https://oilgasjournal.ru/issue_25/alexandrova.pdf DOI: [10.29222/ipng.2078-5712.2019-25.art6](https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-25.art6)

Бондарева Л.И., Осипов А.В. Формирование и размещение ловушек нефти и газа в пределах зоны сочленения Предуральского прогиба и Западно-Уральской внешней зоны складчатости // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. - 2023. - №3. - С. 52-65. DOI: [10.32454/0016-7762-2023-65-3-52-65](https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-52-65)

Волож Ю.А., Хераскова Т.Н., Антипов М.А., Селезнева Н.Н. Предуральский прогиб: прогноз скоплений углеводородов в додевонских отложениях // Вести газовой науки. - 2010. - 2010. - №2. - С. 309-315.

Гзовский М.В. Основы тектонофизики. - М.: Наука, 1975. - 536 с.

Казанцев Ю.В., Казанцева Т.Т., Загребина А.И., Газизова С.А. Структурная геология северо-востока Башкортостана. - Уфа: АН РБ, Отделение наук о Земле и экологии, 1999. - 131 с.

Мушин И.А., Корольков Ю.С., Чернов А.А. Выявление и картирование дизъюнктивных дислокаций методами разведочной геофизики. - М.: Научный мир, 2001. - 120 с.

Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. С. 280.

Фортунатова Н.К., Швеиц-Тэнэнта-Гурий А.Г., Бушуева М.А., Канев А.С., Лучина С.А., Авдеева А.А., Володина А.Г., Холмянская Н.Ю. Методика прогноза структурно-литологических и литологических ловушек нефти и газа в верхнедевон-турнейском и нижнепермском карбонатных нефтегазоносных комплексах востока Волго-Уральской НГП // Геология нефти и газа. - 2019. - № 3. - С. 21-36. DOI: [10.31087/0016-7894-2019-3-23-38](https://doi.org/10.31087/0016-7894-2019-3-23-38)

This is an open access article under the CC BY 4.0 license

Received 12.03.2024

Published 29.03.2024

Fortunatova N.K.

FGBU "All-Russian Research Geological Oil Institute" (FGBU "VNIGNI"), Moscow, Russia, fortunatova@vnigni.ru

Rybal'chenko V.V., Sitdikov N.R.

PJSC "Gazprom", St. Petersburg, Russia, sitdikov@adm.gazprom.ru

Shishkina T.Yu., Belousov G.A., Kanev A.S., Alferenok A.V., Gorodkov A.B., Taratyn E.A., Sotnikova D.Yu.

FGBU "All-Russian Research Geological Oil Institute" (FGBU "VNIGNI"), Moscow, Russia

RESULTS OF A REGIONAL TECTONIC MODEL BUILDING CONCERNING THE ZONE OF THE PRE-URAL TROUGH (VOLGA-URAL PETROLEUM PROVINCE)

The results of geological and geophysical interpretation of new and retrospective regional seismic profiles are presented. This makes it possible to significantly elucidate the understanding of the structure and oil and gas potential of sedimentary cover within the Pre-Ural trough of the Volga-Ural petroleum province. Faults of various configurations and genesis have been traced and mapped. Interpretation of seismic data shows the widespread development of both ancient and recent faults, which were formed under conditions of subsidence and extension of the sedimentary cover. In an environment of lateral compression and shear in the Permian time, reverse faults, thrusts, strike-slip faults and associated plicative structures were formed. Based on the refined structural-tectonic model, new exploration targets for oil and gas are predicted.

Keywords: *interpretation of seismic data, fault, thrust, placative structure, sedimentary cover, structural-tectonic model, Pre-Ural trough, Volga-Ural petroleum province.*

For citation: Fortunatova N.K., Rybal'chenko V.V., Sitdikov N.R., Shishkina T.Yu., Belousov G.A., Kanev A.S., Alferenok A.V., Gorodkov A.B., Taratyn E.A., Sotnikova D.Yu. Rezul'taty postroeniya regional'noy tektonicheskoy modeli v zone Predural'skogo kraevogo progiba Volgo-Ural'skoy neftegazonosnoy provintsii [Results of a regional tectonic model building concerning the zone of the Pre-Ural trough (Volga-Ural petroleum province)]. Neftegazovaya Geologiya. Teoriya i Praktika, 2024, vol. 19, no. 1, available at: https://www.ngtp.ru/rub/2024/8_2024.html. EDN: NHPWJ

References

Aleksandrova T.V., Yakovlev Yu.A., Shibanova A.M., Makarova S.V. Veroyatnostnaya otsenka neftegazovogo potentsiala perspektivnykh territoriy skladchato-nadvigovoy zony Srednego Urala [Probabilistic assessment of oil and gas potential of promising territories of the Middle Urals folded thrust zone]. *Aktual'nye problemy nefti i gaza*, 2019, vol. 25, no. 2, available at: https://oilgasjournal.ru/issue_25/alexandrova.pdf (In Russ.). DOI: [10.29222/ipng.2078-5712.2019-25.art6](https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2019-25.art6)

Bondareva L.I., Osipov A.V. Formirovanie i razmeshchenie lovushek nefti i gaza v predelakh zony sochleneniya Predural'skogo progiba i Zapadno-Ural'skoy vneshney zony skladchatosti [Formation and placement of oil and gas traps within the articulation zone of the Pre-Ural trough and the West Ural external folding zone]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Geologiya i razvedka*, 2023, no. 3, pp. 52-65. (In Russ.). DOI: [10.32454/0016-7762-2023-65-3-52-65](https://doi.org/10.32454/0016-7762-2023-65-3-52-65)

Fortunatova N.K., Shvets-Teneta-Guriy A.G., Bushueva M.A., Kanev A.S., Luchina S.A., Avdeeva A.A., Volodina A.G., Kholmyanskaya N.Yu. Metodika prognoza strukturno-litologicheskikh i litologicheskikh lovushek nefti i gaza v verkhnedevon-turneyskom i nizhnepersmskom karbonatnykh neftegazonosnykh kompleksakh vostoka Volgo-Ural'skoy NGP [Methodology for predicting structural and lithological traps of oil and gas in the Upper Devonian-Tournaisian and Lower Permian

carbonate oil and gas bearing complexes in the east of the Volga-Ural petroleum province]. *Geologiya nefti i gaza*, 2019, no. 3, pp. 21-36. (In Russ.). DOI: [10.31087/0016-7894-2019-3-23-38](https://doi.org/10.31087/0016-7894-2019-3-23-38)

Gzovskiy M.V. *Osnovy tektonofiziki* [Fundamentals of tectonophysics]. Moscow: Nauka, 1975, 536 p. (In Russ.).

Kazantsev Yu.V., Kazantseva T.T., Zagrebina A.I., Gazizova S.A. *Strukturnaya geologiya severo-vostoka Bashkortostana* [Structural geology of the North-East of Bashkortostan]. Ufa: AN RB, Otdelenie nauk o Zemle i ekologii, 1999, 131 p. (In Russ.).

Mushin I.A., Korol'kov Yu.S., Chernov A.A. *Vyyavlenie i kartirovanie diz'yunktivnykh dislokatsiy metodami razvedochnoy geofiziki* [Detection and mapping of disjunctive dislocations by methods of exploration geophysics]. Moscow, Nauchnyy mir, 2001, 120 p. (In Russ.).

Puchkov V.N. *Geologiya Urala i Priural'ya (aktual'nye voprosy stratigrafii, tektoniki, geodinamiki i metallogenii)* [Geology of the Urals and Pre-Urals (topical issues of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)]. Ufa: DesignPolygraphService, 2010, 280 p. (In Russ.).

Volozh Yu.A., Kheraskova T.N., Antipov M.A., Selezneva N.N. *Predural'skiy progib: prognoz skopleniy uglevodorodov v dodevonskikh otlozheniyakh* [Pre-Ural trough: forecast of hydrocarbon accumulations in pre-Devonian strata]. *Vesti gazovoy nauki*, 2010, no. 2, pp. 309-315. (In Russ.).