УДК 551.24: 550.83 (574.13)

ТИПЫ И РОЛЬ РАЗЛОМОВ В СТРОЕНИИ ЮГО-ВОСТОЧНОЙ ОКРАИНЫ РУССКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО НОВЫМ СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Светлакова А.Н., Пучков В.Н., Горожанина Е.Н., Горожанин В.М. – Институт геологии УНЦ РАН, Уфа.

Аннотация. Строение юго-восточной окраины Русской платформы определяется наличием субширотных авлакогенов докембрийского заложения – крупного Камско-Бельского (Калтасинского) и впадающего в него с юго-запада Серноводско-Абдуллинского. На восточной окраине развит субмеридиональный Предуральский передовой прогиб, наложенный на краевую часть платформы в позднем палеозое. Интерпретация серии сейсмопрофилей показала, что в строении этих структур значительная роль принадлежит разломам разного генезиса. Бортовые зоны авлакогенов ограничены сбросами и сдвигами, большая часть из которых реактивирована в более поздние эпохи. В центральной части Серноводско-Абдулинского авлакогена имеется поднятие, ограниченное сдвигами субширотного простирания. К ним приурочены грабеновые структуры. В пределах северной прибортовой зоны Калтасинского авлакогена выделено инверсионное Кушкульское поднятие (месторождение), которое могло быть образовано в результате левого сдвига, параллельного его борту. В западной части Предуральского прогиба установлены структуры, соответствующие сбросам листрического типа. К ним приурочены пермские рифовые массивы. В центральной части выявлено Белоглинское поднятие, аналогичное Перовско-Корниловскому валу на юге Оренбургского Предуралья, также ограниченное разломами сдвиговой природы. Восточная часть прогиба это – зона надвигов, которая является продолжением зоны передовой складчатости, погруженной под верхнепермские молассовые осадки.

Сейсмический профиль, инверсионное поднятие, разломы, надвиги, сдвиги, грабены, Предуралье.

THE FAULT TYPES AND ITS ROLE IN THE STRUCTURE OF THE SOUTH-EASTERN MARGIN OF THE RUSSIAN PLATFORM ON NEW SEISMIC DATA

Svetlakova A.N., Puchkov V.N., Gorozhanina E.N., Gorozhanin V.M. – Institute of Geology of the Ufimian scientific Center of RAS, Ufa

Abstract. The structure of the south-eastern margin of the Russian Platform is determinated by the presence of the sub-latitudinal Precambrian aulacogenes – the large Kama-Belaya (Kaltasinian) aulacogene and the Sernovodsk-Abdulino aulacogene, flowing into it from the south-west. On the eastern margin the sub-meridional Pre-Ural Foredeep is developed, it was superimposed on the Platform margin in the Late Paleozoic. The interpretation of seismic profile series has showed the big role of different types of faults in these structures. The side zones of these aulacogenes are limited by normal faults and strike-slip faults, most of which was activated in later epochs. In the central part of the Sernovodsk-Abdulino aulacogene it is an uplift, limited by the sub-latitudinal strike-slip faults. The graben structures are timed to them. Within the northern near-side zone of the Kaltasinian aulacogene the Kushkul inversion uplift (oil-field) is distinguished, it could be formed as a result of the left strike-slip movement, parallel to its side. At the western part of the Pre-Ural Foredeep the structures according to normal-faults of listric type were determined. The reef massifs are timed to them. In the central part the Beloglinka Uplift is revealed as an analogue of the Perovsk-Kornilovka Swell in the south of the Orenburg PreUrals, it is also limited by the faults of the strike-slip nature. The eastern part of the Foredeep is a thrust zone, which is a continuation of the foreland fold zone, submerged under the Upper Permian molasse sediments.

Seismic profile, inversion uplift, faults, thrusts, strike-sleep faults, graben, Pre-Uralian.

Введение

Линейно вытянутые валы, а также линейно вытянутые нарушения в виде микрограбенов в осадочном чехле восточной окраины Восточно-Европейской платформы представляют собой зоны нефтегазонакопления. Приуроченность этих структур к разломам кристаллического основания все

больше находит подтверждение на сейсмическом материале. В Башкортостане в последние годы силами производственных организаций, в основном, ОАО Башнефтегеофизика, проведен большой объем сейсмических исследований по Государственной программе изучения глубинного строения региона. Данные работы имели не только практическую цель поисков месторождений, но и научно - производственную направленность – изучение глубинного геологического строения и выявление новых перспективных участков в регионе.

Анализ нового сейсмического материала показал, что далеко не все характерные признаки тектонических нарушений использованы производственниками при их выделении. Кроме того, некоторые нарушения выделялись формально: если они хорошо читались в верхней части разреза, то на глубину они просто проводились достаточно условно и чаще всего субвертикально. В результате этого была потеряна важная информация

В связи с этим в задачу наших исследований входило провести повторную интерпретацию некоторых сейсмических профилей, проходящих в субширотном и субмеридиональном направлениях с целью систематизировать типы разломов, выделяемых на этих профилях, показать их приуроченность к определенным геологическим участкам и выявить их связи с месторождениями углеводородов.

На практике разломы на сейсмических разрезах выделяют по нарушению когерентности – непрерывного прослеживания отражающих горизонтов в верхней части разреза. В последнее время получено достаточно данных о распространении разломов в осадочной толще, получивших развитие снизу, от разломов кристаллического основания.

Известно, что зона разлома является своеобразным геологическим телом, которое отличается по своим физическим характеристикам от вмещающих пород. В зоне разлома может наблюдаться как уплотнение пород, так и разуплотнение. В связи с этим, зона разлома должна отображаться в гравитационном поле и, обязательно, – в поле сейсмических (упругих) волн. В любом случае, контакт разлома с обычной породой – это место, где образуется *дифрагированная волна,* а значит, она должна проявиться в волновом поле, которое отображено на сейсмическом разрезе. Из литературных источников известно (Бинкин, Шалаевская, 1972), что *дифрагированная волна* при работах по методу ОГТ ОВ (общая глубинная точка отраженной волны) также суммируется, как и обычная отраженная волна, и образует серию коротких осей синфазности, расположенных вдоль контакта – нарушения сплошности пород. Чаще всего эти контакты бывают наклонными (Николаевский, 1987).

Типы разломов

В пределах исследуемого района можно выделить три системы разрывных нарушений, это: сдвиги, сбросы и надвиги (взбросы). Есть и особая категория разломов, связанных с детачментом (субгоризонтальным срывом), распространены они, в основном, в предгорных районах. Среди разломов, читаемых на сейсмограммах, хорошо определяются сбросы и взбросы по нарушению когерентности (непрерывной корреляции отраженной волны) или субвертикальному, а также наклонному, смещению отражающих площадок. По этим признакам можно выявлять зоны нарушения, к которым приурочено смещение отражающих площадок.

Сдвиги. Субвертикальные зоны нарушений глубокого заложения мы выделяем как сдвиги. Они определяются более мелкими сбросами и взбросами. В поперечном сечении зона сдвига в обстановке сжатия представляет собой сочетание взброшенных и опущенных блоков (рис. 1 А), образуя валообразные поднятия (структура цветка). Зона разлома имеет оперяющие трещины, по которым происходит смещение отдельных блоков пород в горизонтальной плоскости по типу взбросонадвигов. На профиле, пройденном параллельно зоне сдвига, выделяется серия блоков, взброшенных в одном направлении

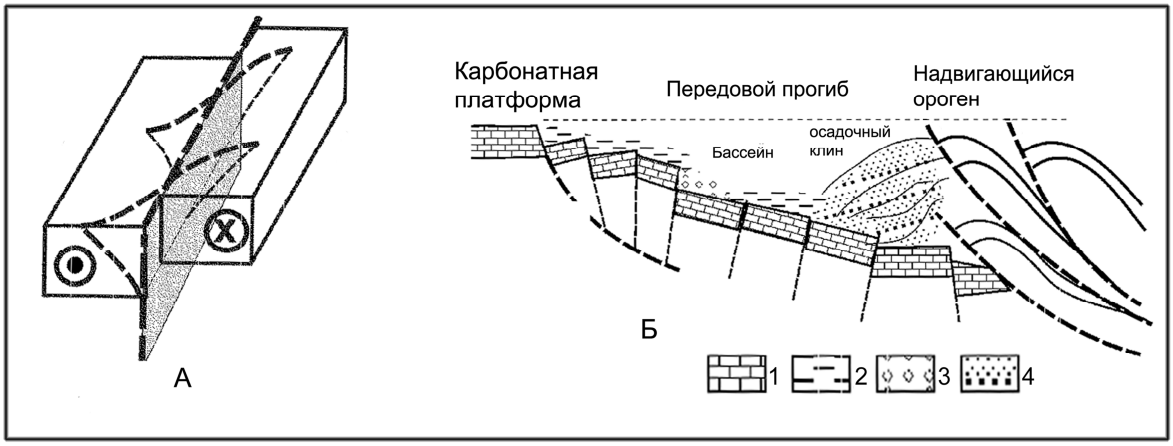

Рис. 1. Типы разломов: **А –** субгоризонтальный сдвиг в обстановке сжатия (объемная модель, показывающая смещение блоков по левому сдвигу и образование вдоль плоскости субвертикального разлома изогнутых оперяющих трещин: показаны изогнутым пунктиром на горизонтальной поверхности блока); **Б –** сбросы листрического типа в западной части Предуральского передового прогиба и надвиги в его восточной части; условные обозначения: 1 – карбонатная платформа, 2 – глинистые депрессионные осадки, 3 – осадочные брекчии, 4 – флишевые осадки

(структура «домино»). Эти структуры характерны для зоны сдвига, например, для Еты-Пуровского вала в Западной Сибири (Тимурзиев, 2009). Сдвиговую природу имеет Перовско-Корниловский вал, выявленный нами по кровле рифейских отложений в центральной части Предуральского прогиба (Светлакова и др, 2007; 2008). К этой структуре приурочен ряд месторождений.

Сбросы. На плитной части платформы, примыкающей к Предуральскому прогибу, мы наблюдаем сбросы, часто различной глубины заложения. Многие из них выполаживаются с глубиной. И.С. Огаринов одним из первых обратил внимание на существование в земной коре разломов, уходящих круто от поверхности на большую глубину и выполаживающихся на разных уровнях. Такие разломы-нарушения были показаны им по профилям ГСЗ Темир - Тау - Куйбышев и по Аралсорскому (Огаринов, 1981). Автор называл их срывами.

В.Н. Николаевский (институт Физики Земли), изучая проблему разрушения горных пород в лабораторных условиях (разрушение достигалось за счет больших тангенциальных напряжений, порядка 0,2 ГПа), установил, что горизонтальная составляющая давления нарастает с глубиной быстрее вертикальной. Об этом же свидетельствуют реальные замеры в скважинах и в шахтах. В самом верхнем слое коры относительная роль горизонтальной составляющей давления невелика. Но с глубиной, в областях тектонического сжатия, ось максимального сжатия постепенно переходит от вертикального в горизонтальное положение: разломы коры становятся более пологими с увеличением глубины и часто протягиваются на большие расстояния (Николаевский, 1987).

Подобные разломы впервые были описаны в 1909 году Э. Зюссом (Suess, 1909-1914). Они названы листрическими (от греческого listron – совок, лопата). Листрические разломы могут уходить на большую глубину и могут выполаживаться. По-видимому, это зависит от состава пород – наличия поверхности срыва на разных уровнях.

Разломы листрического типа оперяются антитетическими разломами, по которым происходит «сползание» и поворот блоков в субвертикальной плоскости (рис. 1 Б). Эти разломы хорошо читаются на временных разрезах сейсмопрофилей, пересекающих Предуральский прогиб в его западном борту (Светлакова и др., 2008).

Надвиги. В восточном борту Предуральского прогиба выделяются надвиги (рис. 1 Б). Иногда они прослеживаются на запад до центра прогиба, ограничиваясь снизу общей плоскостью срыва – детачментом (Светлакова и др., 2007).

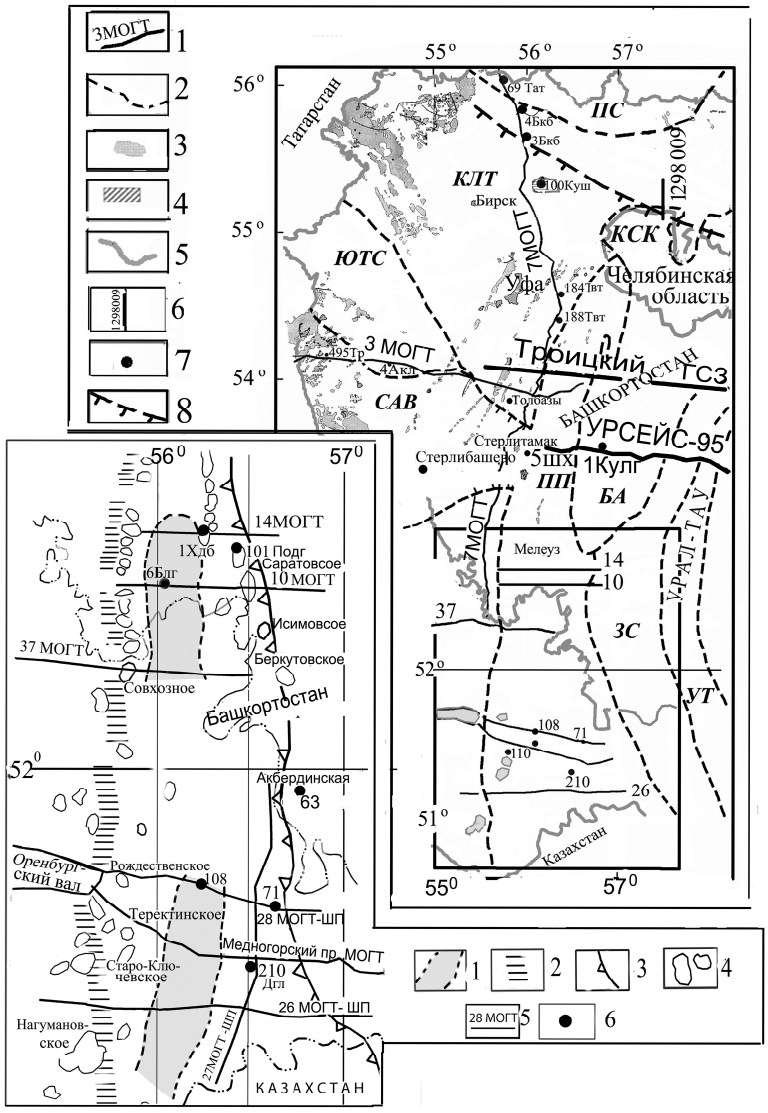

Рис. 2. План расположения региональных профилей в Башкортостане и на юге Оренбургского Предуралья: участок, показанный в рамке, представлен на врезке в увеличенном м-бе; 1 – региональные профили МОГТ; 2 – границы тектонических регионов; 3 – месторождения; 4 – населенные пункты; 5 – административная граница; 6 – профиль 1298009, пересекающий Каратауский комплекс (КСК) в субмеридиональном направлении; 7 – скважины; 8 – Каратауский сдвиг, Стерлибашевский и Толбазинский грабены, приуроченные к сдвигам. *ЮТС* – Южно-Татарский свод*; КЛТ* – Калтасинский авлакоген*; ПС* – Пермско-Башкирский свод*; КСК* – Каратауский структурный комплекс*; САВ* – Серноводско-Абдулинский авлакоген*; ПП* – Предуральский прогиб*; БА* – Башкирский антиклинорий*; ЗС* – Зилаирский синклинорий*; УТ* – антиклинорий Урал-Тау; условные обозначения к врезке: 1 – контуры Перовско-Корниловского вала и Белоглинского вала (поднятия); 2 – гравитационные ступени, контролирующие западный борт прогиба; 3 – граница зоны сочленения прогиба с передовыми складками Урала; 4 – месторождения углеводородов; 5 – региональные сейсмопрофили; 6 – скважины

Надвиги читаются на временных разрезах по следующим признакам: разрыв в корреляции отражений от продуктивных горизонтов, смещение отражающих горизонтов по вертикали и горизонтали и сдваивание их по вертикали. К надвигам приурочены поднятия (месторождения): Подгорновское, Саратовское, Таваканов-ское в Башкортостане. В Оренбургской области с надвигами связаны поднятия Петровское, Гирьяльское, Донголюкское и др., которые выявлены на профилях № 28, 26 и Медногорском (Светлакова и др., 2007).

Характеристика разломов в восточной части Русской плиты по сейсмопрофилям на территории Башкирии

В результате переинтерпретации сейсмических разрезов по региональным профилям в Башкортостане и в Оренбургской области (рис. 2) были получены новые данные о строении западной (платформенной) части Башкортостана, южной части Предуральского прогиба (Мраковская депрессия, Оренбургско-Актюбинское Предуралье) и, частично, о строении восточного борта прогиба.

Профили № 3 и № 7 отработаны в ОАО Башнефтегеофизика на основании Государственной программы по изучению додевонских отложений. Сейсмический материал получен нами из геологических фондов, дана альтернативная интерпретация, отличающаяся от оригинальной интерпретации авторов (Ардашева, Беляева, Валеев, 2004). Профиль № 3, протяженностью 235,5 км, пересекает в субширотном направлении центральную часть республики Башкортостан (рис. 3).

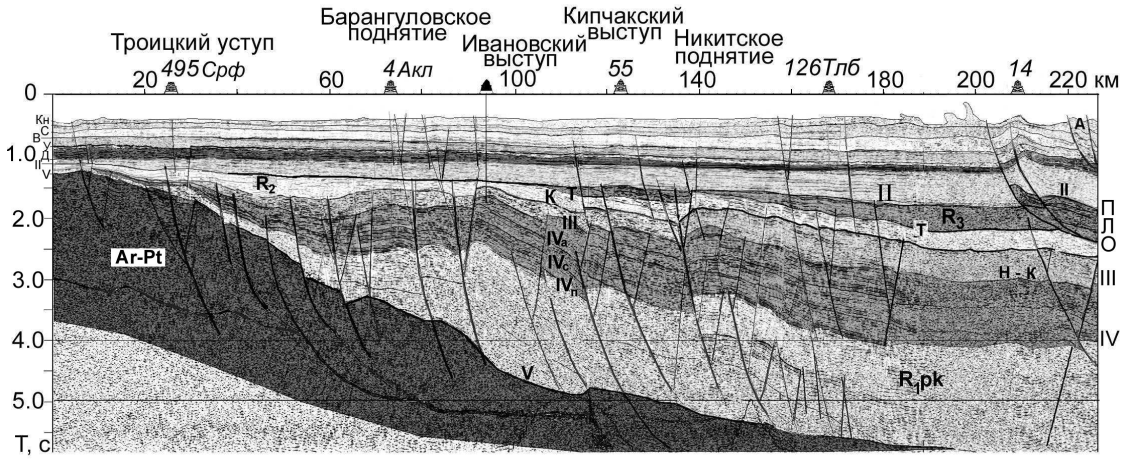

Рис. 3. Временной разрез по субширотному профилю № 3 и его геологическая интерпретация: *495 Срф* – номера скважин (*Срф* – Серафимовская, *Акл* – Аслыкульская, *Тлб* - Толбазинская); условные обозначения к временным и сейсмогеологическим разрезам (рис. 3-8): индексы стратиграфических подразделений: P – отложения пермской системы, P_2uf, kz, t – верхнепермская моласса, уфимский, казанский и татарский ярусы, P_1kg – кунгурский ярус нижней перми, P_1art – артинские отложения нижней перми, C – отложения каменноугольной системы, C_1 – нижний карбон, C_2 – средний карбон, C_3 – верхний карбон; D – отложения девонской системы, O_1, O_2 – ордовикские отложения, R-V – рифейско-вендские отложения, R_1-R_2 – нижне-среднерифейские отложения; R_3 – верхнерифейские отложения; R_1klt – нижнерифейские отложения, калтасинская свита; R_1pk – прикамская серия отложений нижнего рифея; Pt_1 – протерозойские отложения, Ar–Pt – кристаллический фундамент. Отражающие горизонты, приуроченные к кровле: Кн – кунгурских отложений нижней перми, А – сакмаро-артинских отложений нижней перми, Ас – ассельских отложений нижней перми, С – верхнекаменноугольных отложений, Б – башкирского яруса среднего карбона, В – верейских отложений московского яруса среднего карбона, У – бобриковского горизонта визейского яруса нижнего карбона, Д **–** кыновско-пашийских отложений франского яруса верхнего девона, П – приютовской терригенно-карбонатной свиты верхнего рифея, Л – леонидовской терригенной свиты среднего рифея, О – ольховской карбонатно-терригенной свиты среднего рифея, Т – тукаевской свиты среднего рифея, К – кабаковской свиты нижнего рифея, Н – надеждинской терригенной свиты нижнего рифея, III – верхней карбонатной толщи калтасинской свиты нижнего рифея; IV_a – верхней карбонатно-терригенной толщи калтасинской свиты нижнего рифея; IV_c – нижней карбонатной толщи калтасинской свиты; IVп – прикамской подсерии нижнего рифея; V – дорифейского фундамента. Отражающий горизонт II – межсистемная поверхность несогласия, типа «кровельного среза»

Западной частью профиль проходит по Серноводско-Абдулинскому авлакогену, восточной частью находится в пределах Камско-Бельского (Калтасинского) авлакогена.

Оба авлакогена, Серноводско-Абдулинский (субширотный) и Калтасинский (сев.-запад–юго-восток) сливаются на востоке в один крупный прогиб в результате погружения платформы под Урал.

Профиль № 7 (рис. 4, цветная вкладка), протяженностью 505 км, имеет субмеридиональное простирание. С юга на север профиль пересекает следующие крупные структуры восточной окраины Восточно-Европейской платформы: восточную периферию Жигулёвско-Оренбургского свода, Серноводско-Абдулинский авлакоген и Калтасинский авлакоген (см. рис. 2).

Разрез осадочного чехла платформы расчленяется на две крупные структурно-формационные системы: нижнюю - авлакогеновую, и верхнюю – плитную. Граница между ними проходит по отражающему горизонту II –основной межсистемной поверхности несогласия типа «кровельного среза» (Ардашева, Беляева, Валеев, 2004). Этот отражающий горизонт не имеет точной стратиграфической привязки, потому что это «плавающая» граница. Чаще всего

она приурочена к подошве венда, но её возраст местами поднимается до верхнего девона ($Д_3$). На временных разрезах видно, как эта граница срезает и пенепленизирует сложно построенную, с поднятиями и впадинами, осадочную толщу рифейских отложений, иногда контактируя с раннепротерозойскими отложениями и археем.

В авлакогеновой системе выделяется три сейсмоструктурных надкомплекса (Ардашева, Беляева, Валеев, 2004). Нижний терригенно-карбонатный надкомплекс в интервале отражающих горизонтов V и $IV_п$ (прикамская подсерия нижнего рифея). Средний карбонатно-терригенный надкомплекс – между отражающими горизонтами $IV_п$ и III (калтасинская свита нижнего рифея). Над ними залегает верхний терригенный надкомплекс средне-верхнерифейского возраста между отражающим горизонтами III и II. Выше границы II залегают палеозойские осадочные образования, моноклинально погружающиеся на восток и на юг. Многие разломы, выделенные в авлакогеновой системе, прослеживаются и в плитной системе. Стратиграфическая привязка опорных отражающих горизонтов плитной системы выполнена с учетом ГИС имеющихся здесь глубоких скважин.

Профиль № 3 (рис. 3) проходит вблизи параметрических скважин: 191 УРТ (Урустамакская), 1МОР (Морозовская), 495СРФ (Серафимовская), 547ТРЦ (Троицкая), 4АКЛ (Аслыкульская) (Ардашева, Беляева, Валеев, 2004). На самом западе профиля № 3 выделяется Троицкий листрический сброс, он ограничен несколькими антитетическими разломами. Сброс ограничивает с запада Троицкий уступ фундамента, который по рифейским отложениям картируется как выступ. В своде выступа пробурена скважина 495 Серафимовская (Троицкая) с отметкой кровли фундамента минус 2672 м. Далее на восток наблюдается Барангуловско-Ивановский двухкупольный выступ по рифейским отложениям, отделенный от Троицкого впадиной до 4 км глубиной. По фундаменту здесь отмечается терраса. Ещё далее на восток происходит резкое погружение фундамента и рифейских отложений по сбросам, которые местами трансформированы во взбросы. Особенно характерен взброс в районе скважины 55Kzn. Региональное погружение обрывается Кипчакским выступом по рифейским отложениям. Последний также имеет двухкупольное строение. По фундаменту отмечается терраса. Второй купол Кипчакского выступа – Никитское поднятие – ограничен слегка наклоненным на восток разломом, имеющим сложное строение: от него на запад и на восток отходят оперяющие разломы, образующие структуру типа «цветка». Такие структуры характерны для сдвиговых зон (Тимурзиев, 2009). Далее по профилю можно наблюдать несколько подобных разломов, Никитский разлом является наиболее характерным.

На востоке платформы и в Предуральском прогибе рифейские отложения расчленяются на 12 сейсмостратиграфических комплексов (Ардашева, Беляева, Валеев, 2004). Здесь рифейские отложения и кровля фундамента моноклинально погружаются на восток с постепенным наращиванием мощности каждого структурного этажа. Погружение неравномерное, на некоторых участках оно осложнено сбросами и взбросами. Глубина фундамента достигает 11000 м на востоке профиля. В районе скважины 14TBN (Табынская) палеозойские, вендские и верхнерифейские отложения по пологим разломам смещены на запад. Здесь же отмечается несколько (до трех) субвертикальных плоскостей-сбрасывателей, охватывающих от одного до нескольких сейсмостратиграфических комплексов.

Профиль №7. Для стратиграфической привязки отражающих горизонтов на субмеридиональном профиле № 7 (рис. 4, цветная вкладка) использовались данные ГИС 20 скважин. Из них 8 сверхглубоких параметрических скважин: 62КБК (Кабаковская), 184,188ЮТВ (Южно-Тавтимановские), 4УРЖ, 1СКК, 3,4БКБ (Байкибашевские), 69ТАТ (Татышлинская).

На профиле № 7 обнаруживается, что разломы приурочены к каждому стратигра-

ческому комплексу самостоятельно и часто имеют сдвиговую компоненту. В отдельном стратиграфическом диапазоне разломы имеют свой наклон, образуя при этом локальные структуры, иногда характерные только для этого диапазона. Такая картина свидетельствует о косом направлении сжатия со стороны Урала. По всей видимости, молодые подвижки происходили также и с юга. На профиле от южных границ с Оренбургской областью фиксируется резкое стратиграфическое и тектоническое несогласие палеозойских и рифейских отложений. Палеозойские отложения воздымаются на север от начала профиля, в то время как рифейские отложения и фундамент погружаются на север, образуя южный борт субширотного Серноводско-Абдулинского авлакогена. Погружение неравномерное, при этом формируются структуры – поднятия и впадины, разделенные сложно построенными разломами.

Специальное внимание нами обращено на наличие срединных выступов фундамента, возвышающихся в осевых зонах многих авлакогенов и разделяющих их более погруженных прибортовых зон. Подобные выступы являются типичными структурными элементами таких авлакогенов как Днепровско-Донецкий, Вилюйский, Пачелмский, Западно-Техасский и др. (Наливкин и др., 1964). Серноводско-Абдулинский авлакоген также имеет классическое строение (Наливкин и др., 1964) с приподнятым положением фундамента в центре (пикеты 2000-3000) и контролирующими его грабенами. Стерлибашевский грабен (рис. 4, цветная вкладка) имеет сложное строение. Односторонним он выглядит только по среднерифейским отложениям. Верхнерифейские отложения на этом участке срезаны и снивелированы отражающим горизонтом II. По нижнерифейским отложениям – по кровле калтасинской свиты, по кровле прикамской подсерии и по фундаменту – амплитуды смещения сопоставимы на обоих бортах грабена. На южном и северном бортах смещение составляет 300-350 мс, что соответствует амплитуде порядка 700-750 м. Толбазинский грабен имеет более простую структуру по нижнерифейским отложениям с амплитудой южного крыла до 1,5 с по фундаменту (по глубине это составляет до 3,0 км). Вверх по разрезу отмечается уменьшение амплитуды, увеличение расстояния между бортами грабена и усложнение его структуры. Эти два грабена контролируют продолжение Серноводско-Абдулинского авлакогена на восток. На более высоких уровнях амплитуда грабенов уменьшается, расстояние между их бортами увеличивается и структура усложняется.

В районе Толбазинских дислокаций Серноводско-Абдулинский авлакоген открывается в Камско-Бельский авлакоген (рис. 2, рис. 4). На участке профиля между пикетами 4300 и 5000 картируется Кабаковско-Вавиловское поднятие по рифейским отложениям. По фундаменту оно выражено нечетко, по-видимому, из-за плохой записи отражений на этом участке. Южный склон его имеет амплитуду до 300-400 мс, северный пологий – до 50-100 мс. В интервале пикетов 5630-6400 картируется выступ по фундаменту, названный Тавтиманово-Иглинским, который занимает центральную часть Камско-Бельского авлакогена по нижнерифейским отложениям и фундаменту. Северный и южный склоны этого выступа осложнены сериями разветвляющихся оперяющих разломов, формирующих грабенообразные и горстовидные структуры в калтасинских и вышележащих отложениях рифея, венда и палеозоя. Выступ имеет крутой южный (0,2 с) и ещё более крутой северный (0,6 с) склоны. Северный склон выступа совпадает с южной границей крупной инверсионной структуры – Кушкульского поднятия, на котором открыто крупное месторождение. По фундаменту и нижнему рифею эта структура представляет собой впадину, переходящую вверх по разрезу в поднятие.

Инверсия, на наш взгляд, произошла в результате сдвиговых деформаций. В результате левого сдвига северного борта впадины произошло сжатие и выжимание вверх пород, выполняющих впадину. О подобных деформациях свидетельствует

наличие чуть восточнее траверза профиля № 7 крупного сдвига в районе Юрюзано-Айской депрессии. Юрюзанский (Каратауский) сдвиг закартирован на поверхности и четко выделяется в трансформированных гравитационных поля (Тимашева, 1984). Этот левосторонний сдвиг северо-запад – юго-восточного простирания отделяет Каратауский надвиговый комплекс на юге от Юрюзано-Айской впадины на севере. Сдвиг хорошо проявляется на сейсмической записи в виде классического рисунка «положительного цветка» (рис. 5) (Солоницин, 2001). Именно на северо-западном продолжении проявленного на поверхности сдвига картируется северный склон Кушкульской впадины по фундаменту (рис. 4, цветная вкладка).

По профилю № 7 на север от бортового уступа кровля фундамента и рифейские отложения испытывают резкий подъём в сторону Пермско-Башкирского свода. На пикетах 8200-9000 картируется Байкибашевское поднятие, а ещё далее на север – Татышлинский выступ. В районе выступа кровля фундамента фиксируется на отметке минус 6500 м. Таким образом амплитуда подъёма кровли фундамента севернее

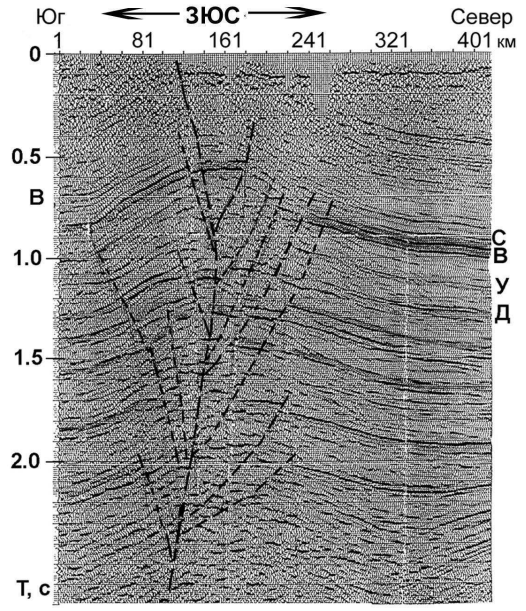

Рис. 5. Характерная картина сдвига на временном сейсмическом разрезе 1298009 через Юрюзанский сдвиг: условные обозначения: ЗЮС – зона Юрюзанского (Каратауского) сдвига; остальные обозначения см. на рис. 3

Кушкульской впадины составляет 8 км на расстоянии 20 км.

Типы разломов и строение Предуральского прогиба по сейсмическим данным

Современные геологические представления о строении Урала и восточной окраины Восточно-Европейской платформы изложены в работе В.Н. Пучкова (Пучков, 2000). В этой модели строение всего Приуралья тесно связано со строением и геодинамикой складчатого Урала. Заложение Предуральского прогиба произошло в позднем карбоне и связано с формированием Уральской складчатой системы (Баймухаметов и др., 1997; Казанцев, 1984; Камалетдинов, 1974; Королюк и др., 1983; Мизенс, 1997; Чувашов, 1998). Предуральский прогиб можно отнести к форландовому бассейну (Осадочные бассейны … , 2004), который в поперечном сечении имеет асимметричное строение. Активным является складчато-надвиговый борт, пассивным – удаленный от орогена, противоположный борт. Пассивный борт форландового бассейна осложнен сбросами, активный борт – надвигами. Причина формирования сбросовой структуры удаленного борта прогиба обсуждается в литературе (Artyushkov et al, 2000). Одной из причин считается влияние нагрузки на край платформы со стороны надвигового клина (рис. 1 Б; Jordan, 1981).

В строении погиба выделяются три зоны: западная, центральная и восточная. Западная зона включает в себя западный бортовой уступ прогиба и прилегающие к нему часть платформы. Центральная зона соответствует наиболее погруженной части Предуральского прогиба. В центральной зоне расположена область некомпенсированного прогибания, выполненная депрессионными осадками, заполненная впоследствии флишем и молассой (Мизенс, 1997). Восточная зона – это зона надвигов (восточный борт прогиба и прилегающие к нему передовые складки Урала).

В пределах Предуральского прогиба нами проанализированы региональные профили на территории Оренбургской области (профили Медногорский, № 26, 37

через Совхозный риф) и в Башкортостане, в Мраковской депрессии (профили №10, 14).

Строение Оренбургско-Актюбинского Приуралья по профилям: Медногорскому и № 26

Анализ и повторная интерпретация нескольких региональных сейсмических профилей, отработанных Оренбургской геофизической экспедицией, позволили закартировать поднятие, прослеженное по кровле докембрийских пород. Поднятие выявлено по трем субширотным профилям (рис. 2) и названо Перовско-Корниловским валом (Светлакова и др., 2007). Северный профиль № 28 сейсмической партии 10/03 проложен на восток от Оренбургского вала через скважину 108 и скважины восточного борта прогиба 70, 71 и 73 до передовых складок Урала. Профиль Медногорский (Новоуспеновская с/п 10/79-80) проложен южнее на 20 км, параллельно первому, до г. Медногорска. Профиль № 26 с/п 10/04 располагается на 20 км южнее Медногорского.

На сейсмических профилях (рис. 6, цветная вкладка) прослеживаются отражающие горизонты, привязанные к скважинам на Соль-Илецком выступе, на Оренбургском валу и на западном борту Предуральского прогиба. Отражающие горизонты неравномерно погружаются с западного борта прогиба на восток, формируя по первому подсолевому горизонту седиментационный артинский уступ. По глубоким горизонтам погружение происходит более плавно. Отражение от ордовикских отложений – «О», протянутое на восток от скважин на Соль-Илецком выступе, сначала немного погружается, а потом начинает воздыматься. В результате этого временной интервал между горизонтом «О» и вышележащим «Д» сокращается к центру прогиба от 1,0 с до 0,2 с. Отражение внутри этой толщи – от вендских (?) отложений – выклинивается к палеоподнятию (Светлакова и др., 2007). Палеозойские отложения к центру прогиба образуют приподнятую структуру, согласную со структурой в рифей-вендских породах, но менее рельефную. Ранее по субмеридиональному профилю № 6-6а восточная приподнятая часть этой структуры была выявлена по первому и второму подсолевым отражающим горизонтам (Тимашева, 1975). Структура была названа Перовской.

Таким образом, поднятие проявлено по отражающим горизонтам, как в древних, так и в палеозойских толщах. Глубина до первого подсолевого горизонта «А» (кровля артинских отложений) фиксируется на отметке минус 4236 м, а до каменноугольных отложений (второй подсолевой горизонт «Б») – на отметке минус 4450м. С запада на восток, к центральной части прогиба, временной интервал между отражающими горизонтами «А» и «Б» сокращается, что свидетельствует о сокращении мощности артинских карбонатных отложений и фациальном их переходе в депрессионные фации.

Перовско-Корниловский вал имеет субмеридиональное (с небольшим отклонением на юго-запад), простирание по глубоким отражающим горизонтам – рифейским или, возможно, дорифейским. Сводовая часть вала на профиле Медногорском по отражающему горизонту «О» прослеживается на времени 3 с (примерно – 7,5 км). Размер вала по ширине – около 10-15 км (Светлакова и др., 2007). Северная периклиналь расположена, по-видимому, севернее скважин 102 и 108 и на сейсмическом материале не зафиксирована. На профиле № 26 намечается южная часть вала между соляными куполами Кзылобинским и Орловским (рис. 6, цветная вкладка). Свод вала отмечается по отражающему горизонту «О» на глубине порядка 8-9 км. Периклиналь, по-видимому, находится еще южнее, поскольку ширина вала здесь ещё достаточно большая – 15 км.

На профиле № 26 (рис. 6, цветная вкладка) на восточном краю палеовала наблюдается клиновидная структура по нижнепермским, каменноугольным и более древним отложениям. На западном склоне вала наблюдаются сейсмические аномалии в палеозойских (возможно, каменноугольных) карбонатных толщах, перспективные на поиски углеводородов. На южном продолжении вала, в его западной краевой части в

2006 г. компанией «Оренбургбургаз» открыто Акобинское газоконденсатное месторождение.

Восточнее Перовско-Корниловского вала на сейсмическом материале появляются отражения Ac_1 и Ac_2, стратифицированные по скважине № 71 с кровлей и подошвой ассельского яруса. Эти отражения являются четким репером, наблюдающимся на всех четырех профилях: трех субширотных и одном субмеридиональном (рис. 2.). Западнее вала отражения Ac_1 и Ac_2 не прослеживаются по той причине, что нижнепермские отложения здесь маломощны и однородны, представлены депрессионными фациями. Тот факт, что на восток от рифейского вала ассельские отложения выделяются четким репером на сейсмической записи, свидетельствует об их отличии в физическом отношении от обычного флиша. В центральной части профиля № 26, восточнее вала, четко виден контакт «ассельского репера» с предполагаемой кровлей карбонатных отложений карбона (рис. 6, цв. вкл.). По сейсмостратиграфической терминологии контакт этот происходит по схеме «подошвенного налегания».

Анализ сейсмического и геологического материала показывает, что на восток от вала мощность нижнепермских отложений резко возрастает за счет перехода отложений во флишевую фацию. Так, по скважине № 71 на восточном борту прогиба, мощность только артинско-сакмарских флишоидов достигает 2000 м, глубже вскрыто 400 м ассельских известняков, к кровле и подошве которых приурочены отражения Ac_1 и Ac_2. В Донголюкской скважине № 210 пройдено 1500 м нижнепермских флишоидов (Балдин, 1998), до кровли ассельских отложений скважина не дошла примерно 300 или 400 м (рис. 6а) На сейсмическом профиле № 26 (рис. 6, цв. вкл.) наблюдается контакт восточной части палеовала и флишевых комплексов карбона и перми, сгруженных по надвигам западной вергентности.

Этот мощный надвиговый клин образует линзу, «упирающуюся» в край Перовско-Корниловского вала. Зона контакта фиксируется разломом, названным Орловским сбросом. Надвиговые структуры прослеживаются как по поверхности ассельского репера, так и по кровле артинских отложений, резко обрываясь на Орловском сбросе (рис. 6, цв. вкл.). Сейсмические материалы показывают, что этот разлом смещает как докембрийские, так и перекрывающие нижне-среднепалеозойские отложения, и вверх по разрезу «затухает» в верхнепермских отложениях. По всем признакам Орловский сброс выполаживается в восточном направлении (рис. 6), и его восточное продолжение может быть интепретировано как «детачмент». Однако длина сейсмической записи на этом участке (5 с) не позволяет это сделать с достаточной уверенностью. Аналог Орловского сброса можно наблюдать на профиле № 28, расположенном на 40 км севернее профиля № 26. Здесь надвиговый пакет более узкий, чем на юге, а «детачмент» прослеживается на временах от 3 до 3,5 с (Светлакова и др., 2007).

Далее на восток в области сочленения прогиба с зоной линейной складчатости надвиговые структуры нарушаются крупным субвертикальным взбросо-надвигом глубокого заложения (по сейсмическим данным – до глубины свыше 10 км). По нему комплексы пород зоны линейной складчатости приподняты относительно прогиба. Этот субвертикальный разлом (Сюреньский) пересекает (разбивает) надвиговые пакеты восточного борта, он является более молодым, послепермским. От него к востоку отходят оперяющие разломы, осложняющие строение принадвиговых антиклинальных складок (например, Актакальской). Мы предполагаем, что этот разлом имеет сдвиговую компоненту. Разлом прослежен с севера на юг на временных разрезах, проходящих через восточный борт прогиба (пр. 26, 28 и Медногорский).

Строение Мраковской депрессии по профилям № 10, 14. В тектоническом отношении Мраковская депрессия является частью Предуральского прогиба, расположенной севернее Оренбургско-Актюбинского Предуралья. Вдоль западного бортового ус-

тупа прогиба в Башкирском Приуралье прослежена цепочка нефтяных месторождений, локализованных в рифовых массивах барьерного типа сакмаро-артинского и ассельского возраста (Баймухаметов и др., 1997). Вдоль восточного борта открыты месторождения, приуроченные к надвигам и взбросам, образовавшимся при формировании складчато-надвигового пояса Урала (Казанцев, 1984). В центральной части Мраковской депрессии в отложениях среднего девона открыто Белоглинское месторождение. На Белоглинской площади в пределах Мраковской депрессии в 1990-1992 гг. проведены региональные сейсмические работы по профилям № 14 и 10 (рис. 7, цветная вкладка). Обработка этих профилей была произведена в г. Хьюстон (США) в рамках договора о сотрудничестве между фирмой PGI и ОАО «Башнефтегеофизика». Сейсмический материал по указанным профилям обрабатывался по программам: «глубинная миграция до суммирования», «скоростной анализ по латерали» и др. Это позволило провести корреляцию волн и построить сейсмогеологические разрезы. Из-за наличия волн-помех существует многовариантность интерпретации сейсмической картины, особенно при выделении разломов (Светлакова и др., 2008).

Западные части сейсмических временных разрезов представлены записью, характерной для зоны перехода от восточного склона Русской платформы к Предуральскому прогибу. Здесь сохраняется близкое к платформенному типу залегание подсолевых отражающих горизонтов. Прослежены отражающие горизонты «А», «В», «У», «Д», «S+V» (их возраст указан в подписи к рисункам). На региональных профилях ярко выражены западные бортовые уступы. Они приурочены к листрическим (выполаживающимся) сбросам восточного падения. Оси синфазности отражений осложнены нарушениями корреляции, обусловленными этими тектоническими контактами. Листрические разломы фиксируются в западной части профиля № 10 и профиля № 14 по глубоким горизонтам от рифея до карбона (рис. 7, цв. вкл.). Серия этих разломов (сбросов) формирует опущенные блоки. Листрические разломы осложнены оперяющими антитетическими сбросами, которые ограничивают «сползшие» в прогиб блоки. Нами сделано предположение о приуроченности пермских рифовых построек к уступам, образованным разломами сбросового типа, формирующимся на границе платформы и краевого прогиба при опускании центральной части прогиба. При образовании листрических сбросов, геологические пласты, прилегающие к плоскости сброса, приобретают наклон, обратный падению сброса. Приподнятая часть блока – это благоприятное место для роста биогерма. На временных разрезах выделяются аномальные участки, которые соответствуют известным рифовым массивам. Это Молокановский, Северо-Кумертауский и Западно-Кумертауский рифы (рис. 7, цв. вкл.).

В центральной части Предуральского прогиба на временных разрезах профилей № 10 и № 14 в Башкортостане, а также на профиле № 37 на севере Оренбургской части прогиба впервые удалось выделить структуру по древним отложениям, аналогичную Перовско-Корниловскому валу (Светлакова и др., 2007; 2008). К этой валообразной структуре приурочено известное Белоглинское месторождение в девонских отложениях. Структура ограничена с запада Бугульчанским разломом, с востока – Ялчино-Рамеевским сложным нарушением (рис. 7, цв. вкл.), которые мы трактуем как сдвиги субмеридионального простирания, они являются самыми молодыми.

В пользу такого предположения свидетельствуют соотношение структурных планов и характер сочленения разновозрастных напластований. Ялчино-Рамеевское, предположительно, левостороннее сдвиговое нарушение, зафиксированное на профиле 10 (пикет 30-35 км) и на профиле 14 (пикеты 35-38 км) разбило западный край антиклинальной принадвиговой структуры вдоль, с севера на юг. В результате, на профиле 10 (южном) нарушение смотрится как сброс, а на профиле 14 (северном) нарушение смотрится как взброс. Здесь про-

дольное нарушение прошло западнее вершины надвига. Такую же сдвиговую природу имеет Бугульчанский сброс, расположенный западнее Ялчино-Рамеевского сброса-сдвига и восточнее Молокановского рифа на профиле № 10.

На профиле № 37 (рис. 8) в Оренбургской области, проходящем параллельно профилю № 10, видно, как раннепермские рифовые постройки (риф Совхозный) расположены над зоной резкого перегиба пластов нижнего, среднего и верхнего карбона. Сейсмическая картина этой зоны показывает, что опускание пластов в сторону прогиба происходит по серии сбросов. Разломы, нарушающие верхние горизонты (в частности кунгурские и надкунгурские отложения) – это реактивированные сбросы. В районе пикета 70.4 (рис. 8) наблюдается смещение и запрокидывание блока кунгурских отложений по листрическому сбросу. Этот сброс срезал отложения верхнего карбона и, частично, среднего карбона. В результате по верхнему карбону не отмечен прибортовой вал, который четко виден по среднему и нижнему карбону.

В кунгурских мульдах и на пологих склонах отражающий горизонт «Кн» представлен регулярными, динамически выраженными осями синфазности; на сводах и склонах он определяется по прекращению корреляции надкунгурских отражений. Временная мощность надсолевых комплексов изменяется от 0 до 2,1 с. Внутренняя структура сейсмической записи этого комплекса в глубоких мульдах представлена серией ярко выраженных осей синфазности. Эти отражения, вероятно, приурочены к плотным глинистым прослойкам в верхней части отложений уфимского яруса, а также к пластам гипсов и ангидритов в верхнепермских отложениях. На профиле 37 можно наблюдать, что соляные купола часто развиты над разломами.

Выводы

Роль разломов сбросового и сдвигового типа в строении юго-восточной окраины Русской платформы и в Предуральском прогибе недооценивалась. В результате переинтерпретации серии сейсмопрофилей нами показано, что в строении и развитии поднятий и валообразных структур в центральной и прибортовой части впадин уча-

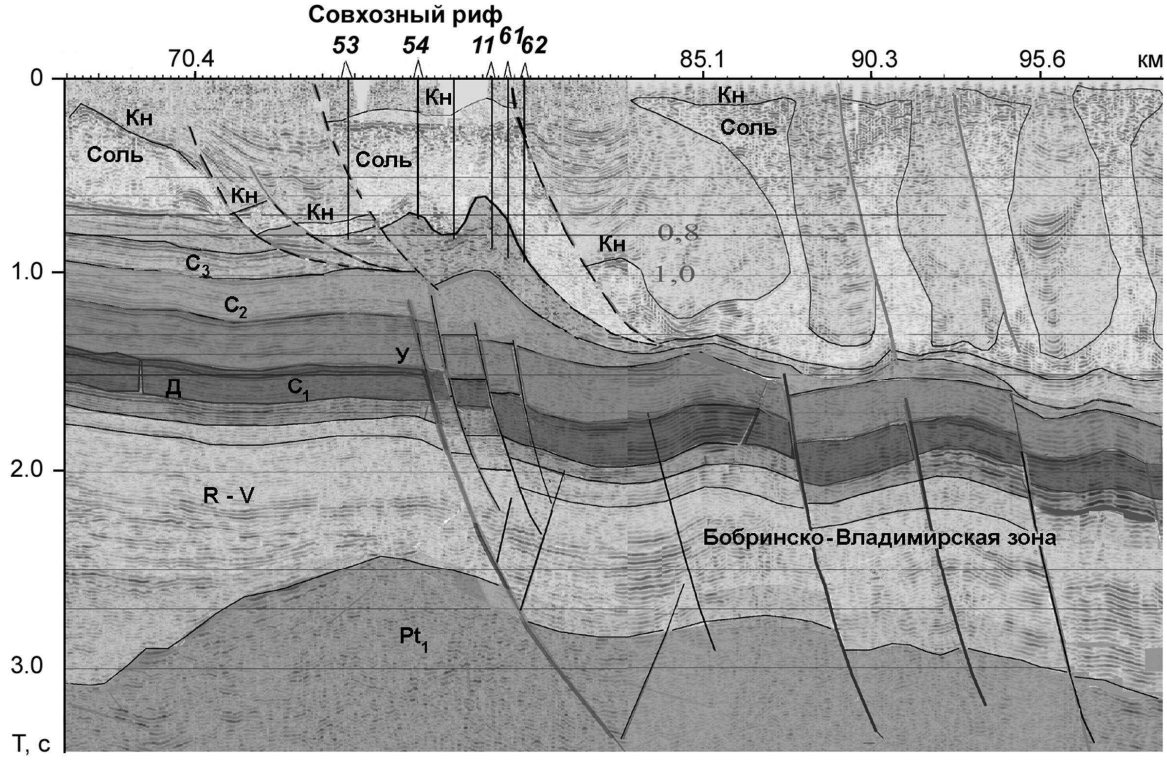

Рис. 8. Временной и сейсмогеологический разрез по профилю 37: условные обозначения см. на рис. 3

ствуют разломы сбросового и сдвигового типов. Структуры, связанные с надвиговыми дислокациями были известны в восточной части Предуральского прогиба, они подтвердились при повторной интерпретации сейсмических профилей.

По данным сейсмического профиля № 7 на территории восточной окраины Русской платформы в пределах Башкортостана было установлено, что центральная часть Серноводско-Абдулинского авлакогена осложнена поднятием, ограниченным сложно построенными разломами субширотного простирания: Толбазинским и Стерлибашевским, которые фактически являются сдвигами. К ним приурочены грабеновые структуры.

Выступ, названный Тавтиманово-Иглинским, занимает центральную часть Калтасинского авлакогена по нижнерифейским отложениям и фундаменту. Северный и южный склоны этого выступа осложнены сериями разветвляющихся оперяющих разломов, формирующих грабенообразные и горстовидные структуры в калтасинских и вышележащих отложениях рифея, венда и палеозоя. Эти разломы также связаны со сдвиговыми деформациями. Северный склон выступа совпадает с южным бортом крупной инверсионной структуры, Кушкульским поднятием, на котором открыто крупное месторождение. Впадина в пределах Калтасинского авлакогена испытала инверсию в результате сдвиговых деформаций. Левый сдвиг, параллельный северному борту впадины, обусловил сжатие и выжимание вверх пород, слагающих верхнюю часть разреза – от среднерифейских до мезозойских.

В результате переинтерпретации сейсмических разрезов по региональным профилям № 10 и 14 были получены новые данные о строении Предуральского прогиба. В западной части прогиба установлены структуры, соответствующие сбросам листрического типа. К ним приурочены пермские рифовые массивы. В центральной части выявлена структура аналогичная Перовско-Корниловскому валу в Оренбургском Предуралье (Светлакова и др., 2007; 2008), она соответствует Белоглинскому поднятию. Показано, что с запада и востока структура ограничена разломами сдвиговой природы, имеющими простирание север-юг. Эти структуры контролируют положение месторождений УВ. Восточная часть прогиба является продолжением зоны передовых складок и надвигов, погруженной под верхнепермские молассовые осадки и нарушенной более поздними сдвигами.

Проведенный анализ сейсмических материалов показал, что основную роль в образовании структур, контролирующих положение месторождений УВ, играют наиболее поздние сдвиговые нарушения.

Литература

Ардашева Т.С., Беляева Т.В., Валеев Г.З. Региональные геофизические исследования Башкортостана // Геология, полезные ископаемые и проблемы экологии Башкортостана. Первые Тимергазинские чтения. Мат-лы конференции: Уфа, 20-21 ноября 2003 / Уфа: Тау, 2004. С. 148-161.

Балдин В.Ф. Разрез малоизученной части Бельской впадины по данным параметрической скважины 210 Донголюкской. // Геология и разработка нефтяных и газовых месторождений Оренбургской области / Научные труды. Вып.1. Оренбург: ОНАКО, 1998. С. 77- 81.

Баймухаметов К.С., Викторов П.Ф., Гайнуллин К.Х., Сыртланов А.Ш. Геологическое строение и разработка нефтяных и газовых месторождений Башкортостана. Уфа: РИЦ АНК «Башнефть», 1997. 424 с.

Бинкин И.Г., Шалаевская О.А. Суммирование дифрагированных волн в методе ОГТ // Разведочная геофизика. 1972. Вып. 54. С. 15-21.

Казанцев Ю.В. Структурная геология Предуральского прогиба. М.: Наука, 1984. 234 с.

Камалетдинов М.А. Покровные структуры Урала. М.: Наука, 1974. 230 с.

Королюк И.К., Щёкотова И.А., Меламуд Е.Л., Сидоров А.Д. Формации и тектоника Южного Приуралья // Проблемы изучения и тектонического анализа гео-

логических формаций. М.: Наука, 1983. С. 23-44.

Мизенс Г.А. Верхнепалеозойский флиш Западного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1997. 229 с.

Наливкин В.Д., Куликов Ф.С., Морозов С.Г., Слепов Ю.Н. Новый крупный авлакоген на востоке Урало-Поволжья // Геология нефти и газа. 1964. № 3. С. 14-17.

Николаевский В.Н. Волноводы земной коры // Природа. 1987. № 7. С. 54-60.

Огаринов И.С., Архипов В.И., Сальников В.Е. К проблеме выделения глубинных срывов на Южном Урале //. Эволюция офиолиовых комплексов. Свердловск: ИГГ УНЦ АН СССР, 1981. С. 20-22.

Осадочные бассейны: методика изучения, строение, эволюция**. //** Под ред. Ю.Г. Леонова, Ю.В. Воложа. / Тр. ГИН РАН. Вып. 543. М.: Научный мир, 2004. 526 с.

Пучков В.Н. Палеогеодинамика Южного и Среднего Урала. Уфа: Даурия, 2000. 146 с.

Светлакова А.Н., Горожанина Е.Н., Пучков В.Н., Карнаухов, С.М., Побережский С.М., Гореликов В.И., Горожанин В.М. Перовско-Корниловский вал – ранее неизвестная крупная глубинная структура Оренбургского Приуралья // Докл. РАН. 2007. Т. 412. № 3. С. 379-382.

Светлакова А.Н., Разуваев В.И., Горожанина Е.Н., Пучков В.Н., Днистрянский В.И., Гореликов В.И., Побережский С.М., Горожанин В.М. Новые данные о строении южной части Предуральского прогиба по результатам сейсмических работ // Докл. РАН. 2008. Т. 423. № 4. С. 502-506.

Солоницин С.Н. Тектоническое строение Юрюзано-Айской впадины в связи с перспективами нефтегазоносности. / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. Уфа, 2001. 23 с.

Тимашева А.Н. (Светлакова). К тектонике Урало-Илекского междуречья Оренбургского Приуралья по данным сейсморазведки // Тр. ЮУО ВНИГНИ. Саратов, 1975. Вып. III (148). С. 54-60.

Тимашева А.Н. (Светлакова). Строение и развитие Каратауского надвигового комплекса на Южном Урале по геофизическим данным // Докл. АН СССР. 1984. Т. 275. № 4. С. 945-949.

Тимурзиев А. И. Новейшая сдвиговая тектоника осадочных бассейнов: тектонофизический и флюидодинамический аспекты (в связи с нефтегазоносностью). / Автореф. дисс. доктора геолого-минералогических наук. Москва, 2009. 25 с.

Чувашов Б.И. Динамика развития Предуральского краевого прогиба // Геотектоника. 1998. № 3. С. 22-37.

Artyushkov E.V., Baer M.A., Chekhoich P.A., Morner N.A. The Southern Urals. Decoupled evolution of the thrust belt and its foreland: a consequence of metamorphism and lithospheric weakening // Tectonophysics. 2000. V. 320. P. 271-310.

Suess E. THE FACE OF THE EARTH. Oxford, 1909-1914. V. 1V.

Jordan T.E. Thrust loads and foreland basin evolution. Cretaceous, western Unites States // Am. Ass. Petrol. Geo. Bull., 1981. V. 65. P. 2506-2520.

К статье Светлаковой А.Н., Пучкова В.Н., Горожаниной Е.Н., Горожанина В.М. – «Типы и роль разломов в строении юго-восточной окраины Русской платформы по новым … ».

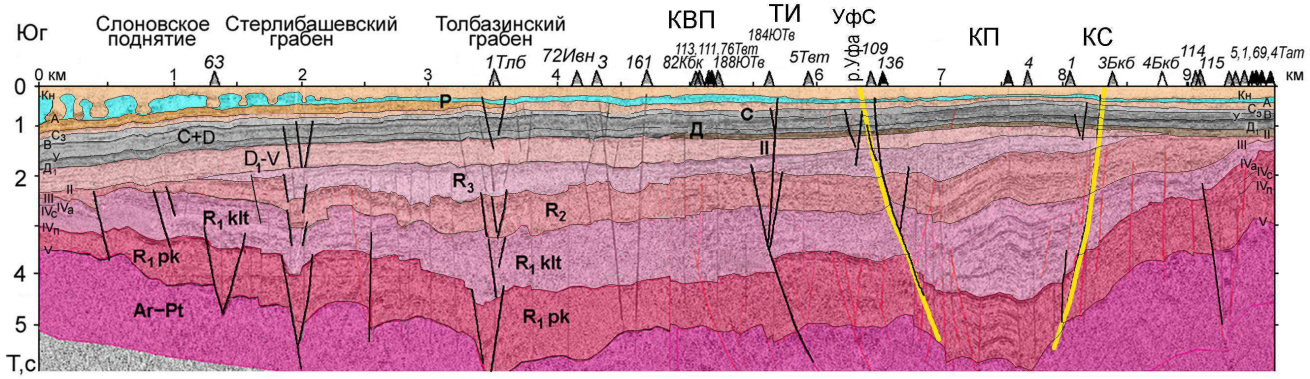

Рис. 4. Временной разрез по профилю № 7 (южный фрагмент): условные обозначения: КВП – Кабаковско-Вавиловское поднятие; ТИ – Тавтиманово-Иглинский выступ; УфС – Уфимский сдвиг; КП – Кушкульское поднятие; КС- Каратауский сдвиг; *63* – номера скважин (*Тлб* – Толбазинская, *Ивн* – Ивановская, *Кбк* – Кабаковская, *Твт* – Тавтимановские, *ЮТв* – Южно-Тавтимановская, *Бкб* – Байкибашевские, *Тат* – Татышлинские); желтым цветом показаны сдвиги; остальные обозначения см. на рис. 3

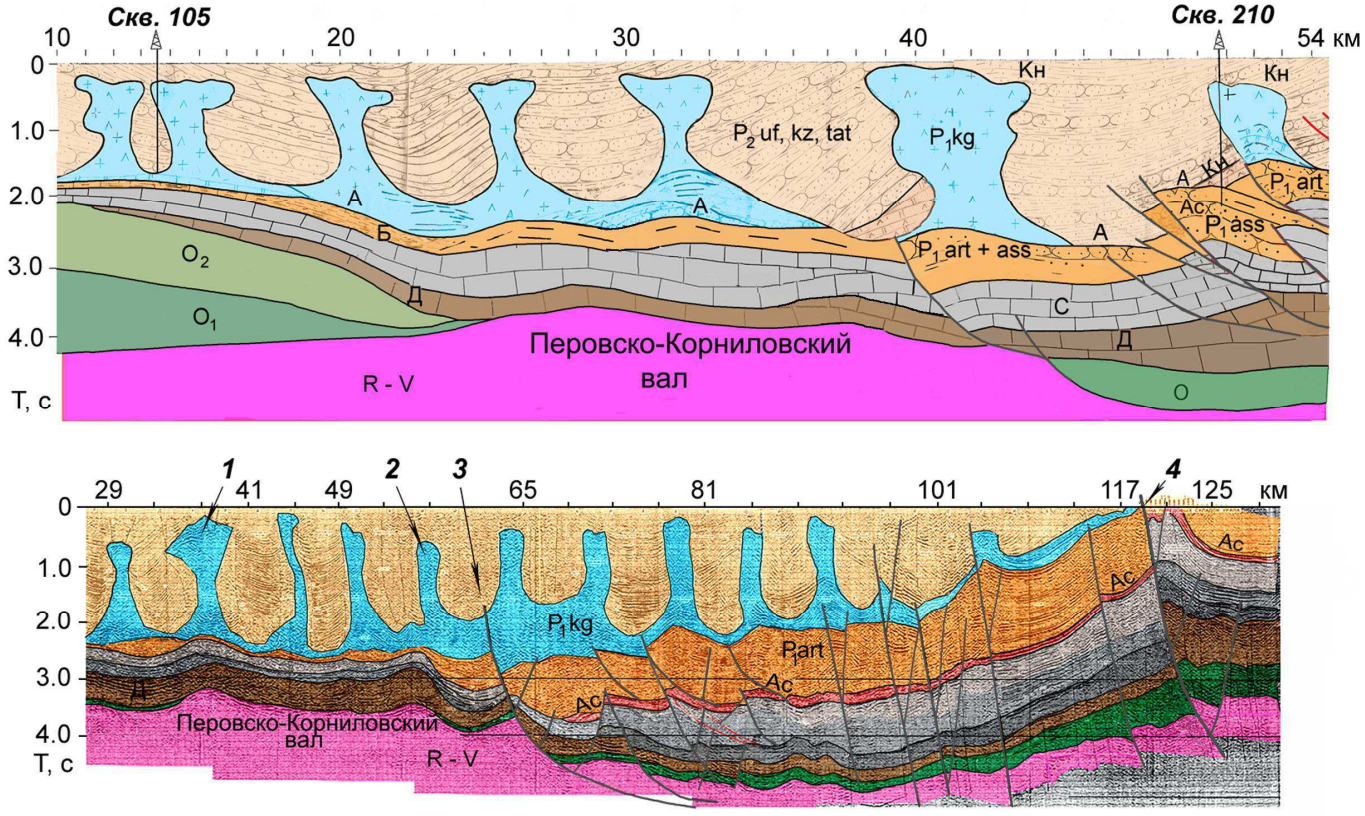

Рис. 6. Временной и сейсмогеологический разрезы по профилям Медногорскому и № 26: условные обозначения: 1 – Кзылобинский соляной купол, 2 – Орловский соляной купол, 3 – Орловский сброс, 4 – Сюреньский сдвиг; остальные обозначения см. на рис. 3; вертикальный масштаб: 1 сек. соответствует 2,5 км

К статье Светлаковой А.Н., Пучкова В.Н., Горожаниной Е.Н., Горожанина В.М. – «Типы и роль разломов в строении юго-восточной окраины Русской платформы по новым … ».

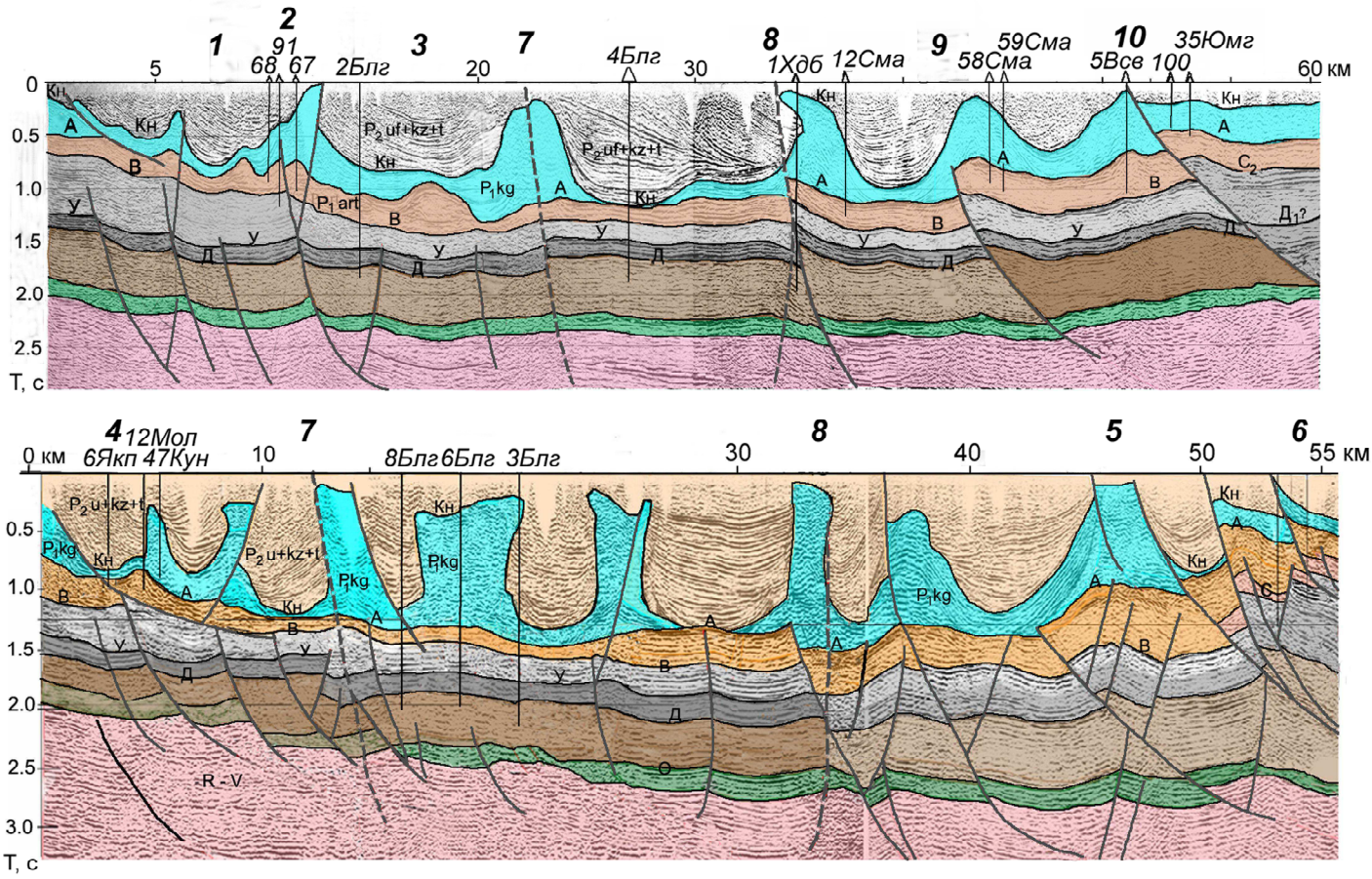

Рис. 7. Временной и сейсмогеологический разрезы по профилям № 14 и 10:
1 – Западно-Кумертауский риф, 2 – Северо-Кумертауский риф, 3 – Восточно-Егорьевское поднятие, 4 – Молокановский риф, 5 – Тавакановское поднятие, 6 – Саратовское поднятие, 7 – Бугульчанский сдвиг, 8 – Ялчино-Рамеевский сдвиг, 9 – Волостновско-Тавакановский надвиг, 10 – Юмагузинско-Ибраевский надвиг; скважины: *Блг* – Белоглинские, *Хдб* – Худайбердинская, *Сма* – Смаковские, *Юмг* – Юмагузинская, *Якп* – Якуповская, *Мол* – Молокановская, *Куч* – Кучумовская; сбросы и надвиги обозначены сплошными линиями; сложные сдвиговые нарушения – штриховыми; остальные обозначения см. на рис. 3; вертикальный масштаб: 1 сек соответствует 2 км