УДК 551.24: 550.83 (574.13)

ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ СЕЙСМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ ПО ЗИЛАИРСКОМУ РЕГИОНАЛЬНОМУ ПРОФИЛЮ № 4*

Светлакова А.Н., Пучков В.Н. – Институт геологии Уфимского научного центра РАН, Уфа

Аннотация. В работе дана альтернативная интерпретация регионального профиля № 4 (ОАО Башнефтегеофизика, 2004–2005 гг.), пройденного через юго-восток башкирской части Восточно-Европейской платформы и краевые складки Урала. Установлено сдвиговое строение Шарлыкского (Зильдяровского) выступа фундамента. В центре прогиба рифейско-вендские отложения вовлечены во взбросы и надвиги. Два надвига западной вергентности имеют особое значение и отличаются большой горизонтальной амплитудой, позволяющей квалифицировать их как шарьяжи: это Мурадымовский надвиг, ограничивающий синклинорий с запада, и Покровский надвиг в центре синклинория. Крупные разломы-надвиги восточного борта Предуральского прогиба – Шихано-Волостновский и Сюреньский, а также Мурадымовский – выполаживаются на восток и на глубине 17–18 км (7–8 с) соединяются общим детачментом.

Передовые складки, Предуральский прогиб, надвиги, детачмент.

THE RESULTS OF GEOLOGICAL INVESTIGATIONS ALONG ZILAIR REGIONAL PROFILE № 4

Svetlakova A.N., Puchkov V.N. – Institute of Geology, Ufimian Scientific Centre RAS

Abstract. An alternative interpretation was suggested for the regional profile Zilair № 4 (Bashneftegeofizika, 2004–2005), made across the Southwestern area of the Bashkirian part of the East European platform and foreland folds of the Urals. A wrench fault structure of the Sharlyk (Zildyarovo) uplift of the basement was proposed. In the centre of the basin the Riphean-Vendian sediments were affected by thrusting. Two west-vergent thrusts are of a greatest importance and have big horizontal amplitudes, permitting to qualify them as nappes. These are: Muradymovo thrust, marking the western boundary of the synclinorium, and Pokrovsky thrust in the centre of the synclinorium. Big thrusts of the eastern limb of the Preuralian foredeep – Shikhano-Volostnov and Suren, and also Muradymovo foreland folds – acquire gradually a gentler eastward dip at the depth of 17–18 km (7–8 s) and are connected with a general detachment.

Foreland folds, Preuralian foredeep, thrusts, detachment.

Введение

Сейсмический региональный профиль № 4 имеет протяженность 360 км (рис. 1). Он пересекает крупные структуры первого порядка: восточную окраину Русской платформы, Предуральский прогиб, передовые складки Урала, Зилаирский синклинорий, антиформу Уралтау. Профиль отработан силами ОАО Башнефтегеофизика в системе других региональных субширотных и субмеридиональных профилей, отработанных по Государственной программе изучения глубинного строения региона. Часть профилей была нами ранее проанализирована, переинтерпретирована и представлена в печати (Светлакова и др., 2010). В задачу настоящих исследований входило проведение повторной интерпретации сейсмического материала по региональному профилю № 4 с целью уточнения структуры Зильдяровского выступа и положения Мурадымовской и Покровской пластин в Зилаирском синклинории в связи с появлением новых геологических данных, которые не были учтены производственниками. Полевые работы на профиле проводились силами ОАО Башнефтегеофизика сейсморазведкой МОГТ-2D, на 192-канальной телеметрической станции, 48-ми кратным сейсмопрофилированием МОГТ, расстояние между каналами 50 м. Источниками возбуждения были вибраторы, располо-

* Геологическая интерпретация штрихового сейсмического поля, соответствующего дискретной модели среды (довендские отложения в Предуральском прогибе и комплексы Уральской складчатой системы), далеко неоднозначны. Это относится и к данной работе. (Примеч. ред.)

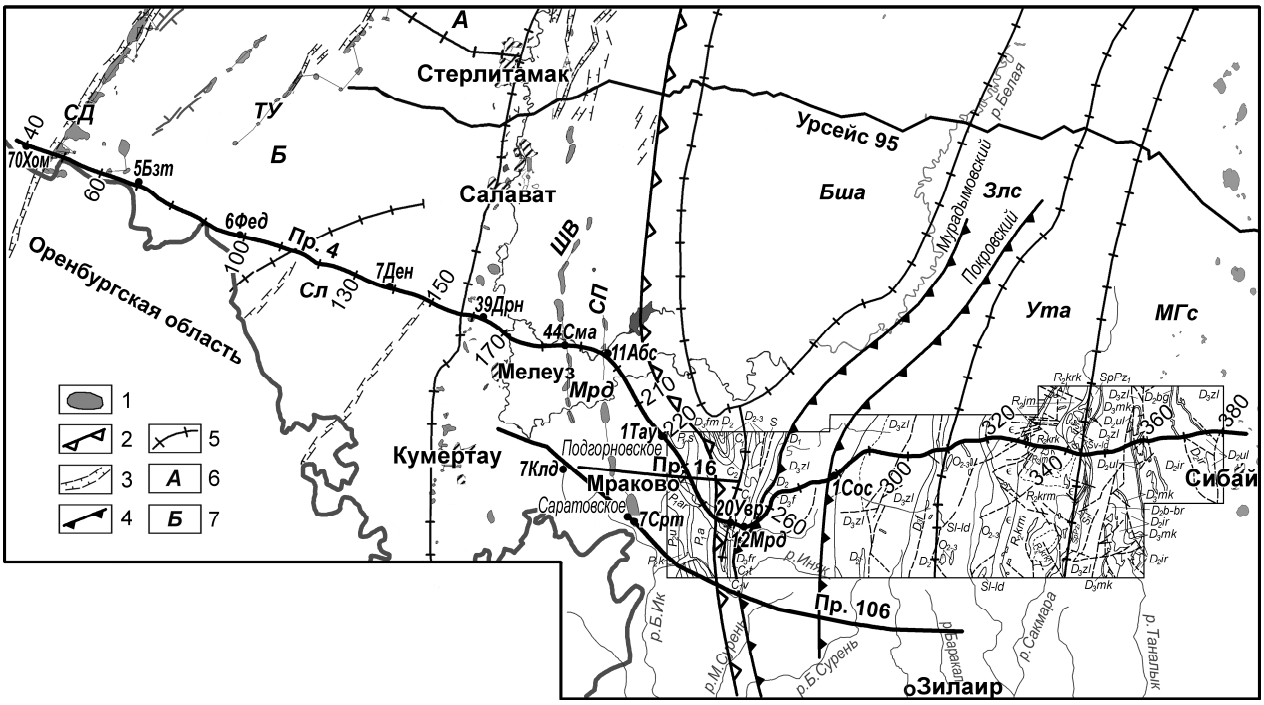

Рис. 1. Обзорная карта:
1 – месторождения нефти и газа и зоны нефтегазоносных структур, расположенные линейно (*ШВ* – Шихано-Волостновская, *СП* – Саратовско-Подгорновская); 2 – граница Западно-Уральской зоны складчатости; 3 – грабенообразные прогибы (*СД* – Сергеевско-Демский грабен, *ТУ* – Тавтиманово-Уршакский грабен); 4 – надвиги; 5 – тектонические регионы (*Сл* – Салмышская впадина, *Мрд* – Мраковская депрессия (восточная часть Предуральского прогиба), *Бша* – Башкирский антиклинорий, *Злс* – Зилаирский синклинорий, *Ута* – антиклинорий Урал-Тау, *МГс* – Магнитогорский синклинорий); 6 – Камско-Бельский авлакоген; 7 – Серноводско-Абдулинский авлакоген

женные через 100 м, длительность полевой записи – 16 с, обеспечивающая регистрацию отражений от поверхности кристаллического фундамента и глубже. Дискретность записи 2 мс.

Цифровая обработка и интерпретация сейсмических материалов производилась на комплексе SUN ENTERPRISE 3 500 с использованием пакетов программ Geovecteur и Landmark.

Методика выделения тектонических контактов была изложена в прошлой статье (Светлакова и др., 2010). Работы проводились в тесном сотрудничестве, в полном согласии и одобрении со стороны геофизиков ОАО Башнефтегеофизика.

Строение юго-восточной окраины Русской плиты

Сейсмический региональный профиль № 4 имеет протяженность 360 км (рис. 1). Первые 120 км профиль проходит по слабодеформированной части платформы, и здесь картируется Зильдяровский выступ фундамента, на пикетах 65–90 км, на глубине 4,5 км. Выступ ограничен с запада и с востока Серноводско-Абдулинским авлакогеном (он как бы выдвинут в авлакоген с юга). На поверхности фундамента залегают отложения нижнего рифея, причем кровля калтасинской свиты нижнего рифея подвергнута предвендскому размыву. Мощность верхнерифейских отложений на этом участке достигает 3 км. По всей видимости, Зильдяровский выступ является продолжением Шарлыкского, осложняющего северо-восточную часть Оренбургской вершины свода. Четкая сейсмическая запись разломов, падающих навстречу друг другу, подтверждает, что это структура выжимания (рис. 2).

К Зильдяровскому выступу с востока примыкает Фёдоровское поднятие (пикеты 98–112 м) на глубинах минус 6,0–6,5 км. Между ними прослеживается тектоническое нарушение – сдвиг, который четко выделяется в виде субвертикальных нару-

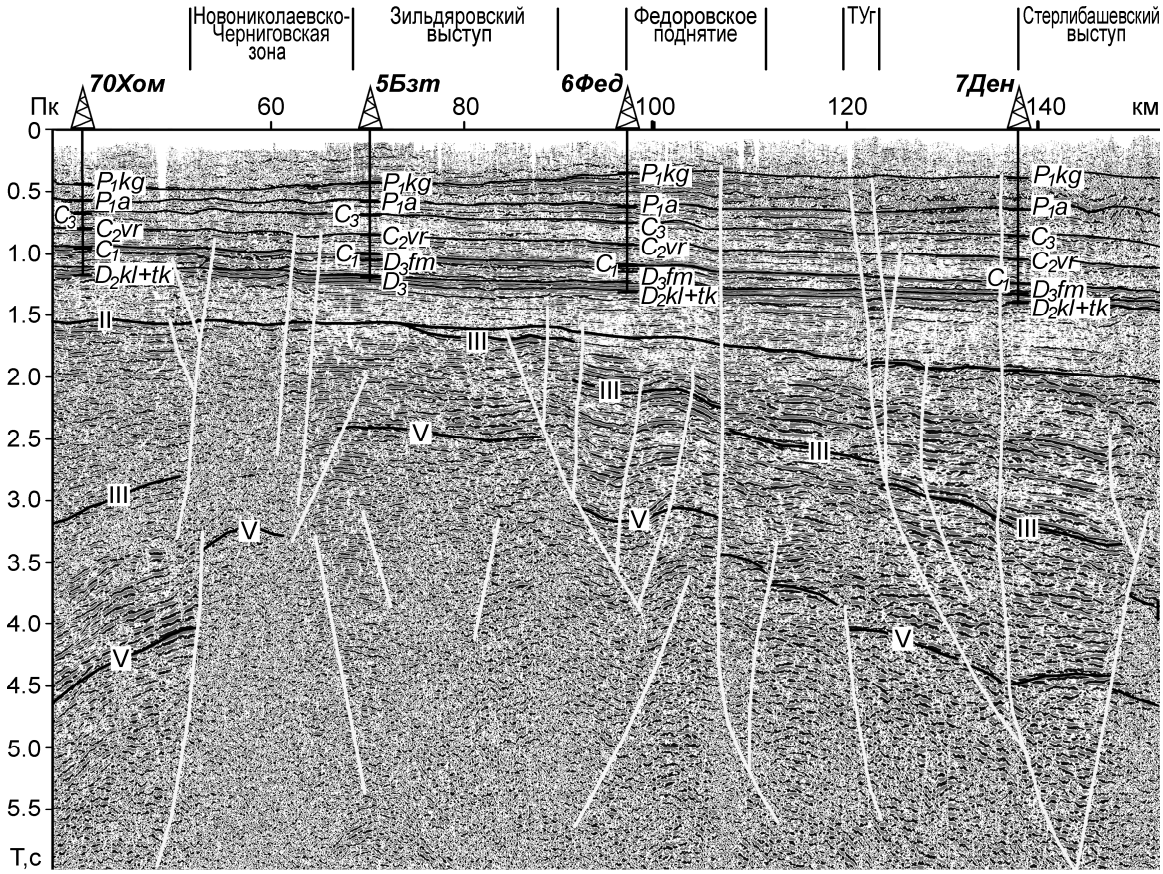

Рис. 2. Фрагмент временного сейсмического разреза по региональному профилю в районе Зильдяровского выступа фундамента. Индексы стратиграфических подразделений: P_1kg – кунгурский ярус нижней перми; P_1a – артинские отложения нижней перми; C_3 – верхний карбон; C_2vr – верейский горизонт московского яруса среднего карбона; C_1 – нижний карбон; D_3fm – фаменский ярус верхнего девона; D_2kl+tk – клинцовский и тукаевский горизонты среднего девона. Отражающие горизонты, приуроченные к кровле: III – верхней карбонатной толщи калтасинской свиты нижнего рифея; V – дорифейского фундамента. Отражающий горизонт II – межсистемная поверхность несогласия, типа «кровельного среза», совпадающая часто с подошвой вендских образований

шений корреляции, осложнённых оперяющими сейсмическими аномалиями (рис. 2).

Строение Предуральского прогиба

На восток от Фёдоровского поднятия кровля фундамента ступенеобразно погружается в Предуральский прогиб (рис. 2, 3). На пикетах 138–150 км выделяется Стерлибашевский выступ фундамента в виде клина на глубинах 10–11 км. Клиновидный характер выступа формируется разломами, хорошо читаемыми на сейсмической записи. На участке (пк 120–140 км) происходит резкое возрастание мощности рифейских и частично вендских отложений.

Вендские отложения, подошву которых контролирует отражение II, можно проследить далеко на восток, в пределы передовых складок. Отложения выделяются прозрачным характером сейсмической записи, светлым слоем на фоне интенсивной записи от всех других докембрийских отложений, поскольку толща сложена однообразными в скоростном отношении образованиями (рис. 3).

В рифейских отложениях наиболее четко выделяется отражение от калтасинской свиты, кровля которой сложена доломитами, обладающими большими, «базальтовыми» скоростями до 6,7 км/с (Кухаренко и др., 1978). На 155 км от начала профиля отмечается флексурообразный перегиб палеозойских и рифейско-вендских отложений, который обозначает погружение слоев в Предуральский прогиб (рис. 3). Структурный план палеозойских отложений в прогибе лучше зафиксирован

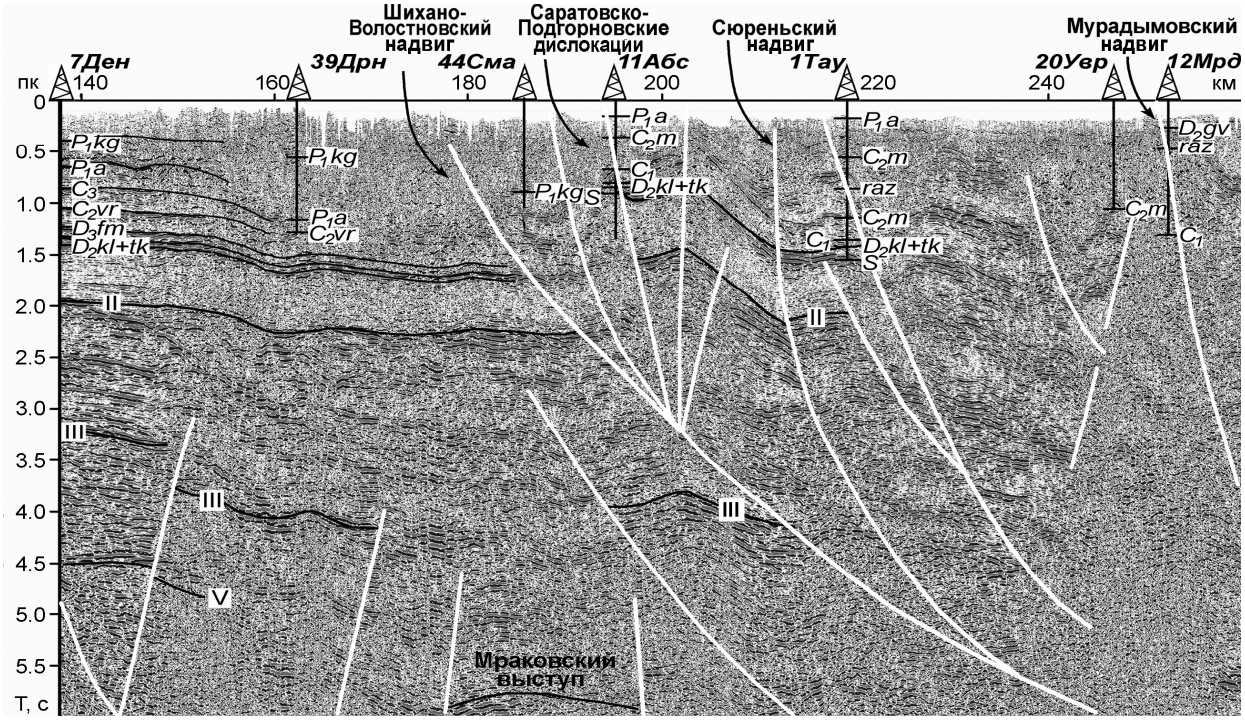

Рис. 3. Временной сейсмический разрез по профилю № 4. Условные обозначения см. рис. 2

на параллельном сейсмическом профиле № 106, отработанном в 1985–1986 гг. (рис. 1 и 4). Рифейские и вендские отложения бурением в прогибе не вскрыты, сейсмическая запись показывает, что отложения рифея и венда, совместно с палеозойскими породами, участвуют в надвиговых и складчатых дислокациях.

На восток от Стерлибашевского выступа на профиле № 4 четкое отражение от кровли фундамента наблюдается далеко в пределах восточного борта Предуральского прогиба – это Мраковский выступ фундамента на пикетах 178–195 км, на глубинах 14–15 км (Т=6 с), и Сюреньский вы-

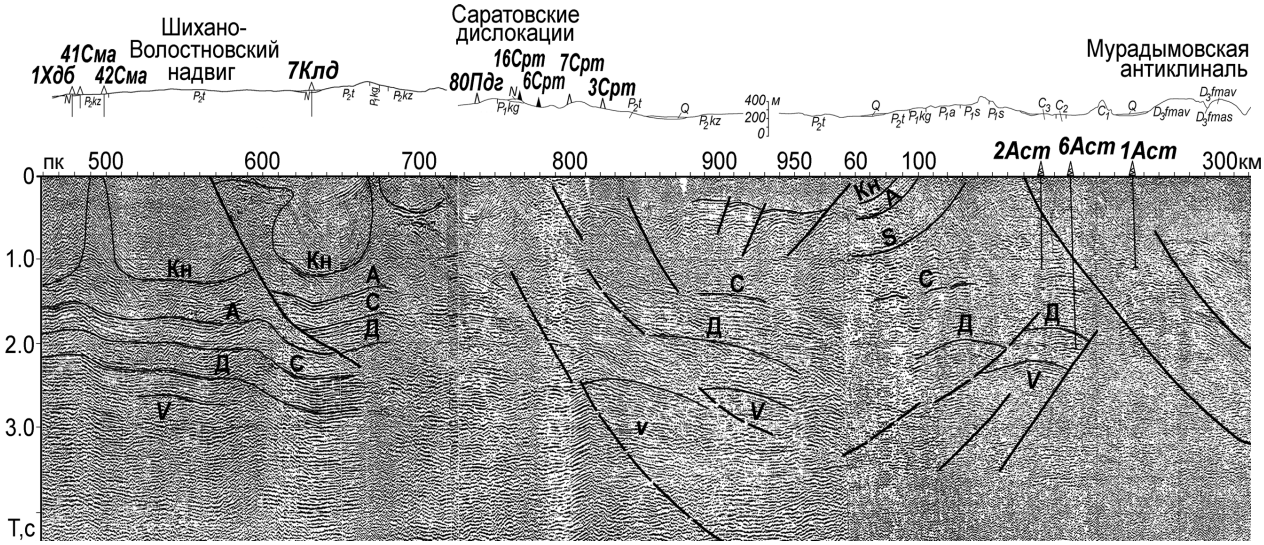

Рис. 4. Временной сейсмический разрез по профилю № 106. Отражающие горизонты, приуроченные к кровле: Кн – кунгурских отложений нижней перми, А – артинских отложений нижней перми; S – сакмарских отложений нижней перми; С – отложений карбона; Д – отложений франского яруса верхнего девона

ступ на пикетах 210-230 км (глубина 17 км, время T = 7 с) (рис. 5).

Восточный борт прогиба, область передовых складок Урала, начинается с Шихано-Волостновского надвига, полого падающего на восток с пикета 175 (рис. 3, 4). Нарушение с запада ограничивает блок, в котором артинские, каменноугольные и девонские отложения приподняты и надвинуты на платформенные отложения того же возраста (см. рис. 4). Восточнее, на пк 190–210 км, прослеживаются Саратовско-Подгорновские дислокации, также ограниченные надвигами. С надвигами сопряжены месторождения углеводородов: Волостновское, Саратовское и Подгорновское. Еще восточнее наблюдается пологий Сюреньский надвиг, с которым сопряжена Таушская структура. Все эти надвиги выполаживаются на восток и соединяются в одну зону скольжения – детачмент на временной отметке 7–8 с (примерно 17–18 км) на расстоянии около 350 км. Они осложнены оперяющими разломами западной и восточной вергентности, которые все вместе формируют клиновидные структуры в палеозойских и рифейско-вендских отложениях.

На глубине, на времени 4,0 с, (пк 200 км) этим дислокациям отвечает взброс, возможно, по калтасинским доломитам (отражающий горизонт III, рис. 3, 5).

Участок от Сюреньского разлома до Мурадымовского – это «переходная зона», где отмечается смена вергентности структур и разломов с западной на восточную (см. рис. 3, 4, 5). Кроме того, здесь, возможно, существует зона сдвига. На это указывает нарушение корреляции (прослеживаемости) Сюреньского и Шихано-Волостновского разломов (рис. 5, 6, пикеты 250–258 км).

Строение Зилаирского синклинория

Структура Зилаирского синклинория представляет собой синформу, осложненную тектоническими покровами, надвигами и сопряженными с ними складчатыми деформациями. Основная часть структуры сложена грауваковым флишем зилаирской свиты, или серии фамен-турнейского возраста (D_3 *fm*-C_1*t*). Подошва этого флиша четко прослеживается хорошим отражением на пикетах 270–280–290 км, ундулируя на времени от 2-х до 3-х с. Западнее пикета 270 км отражение резко воздымается вверх до уровня 1 с, где выполаживается

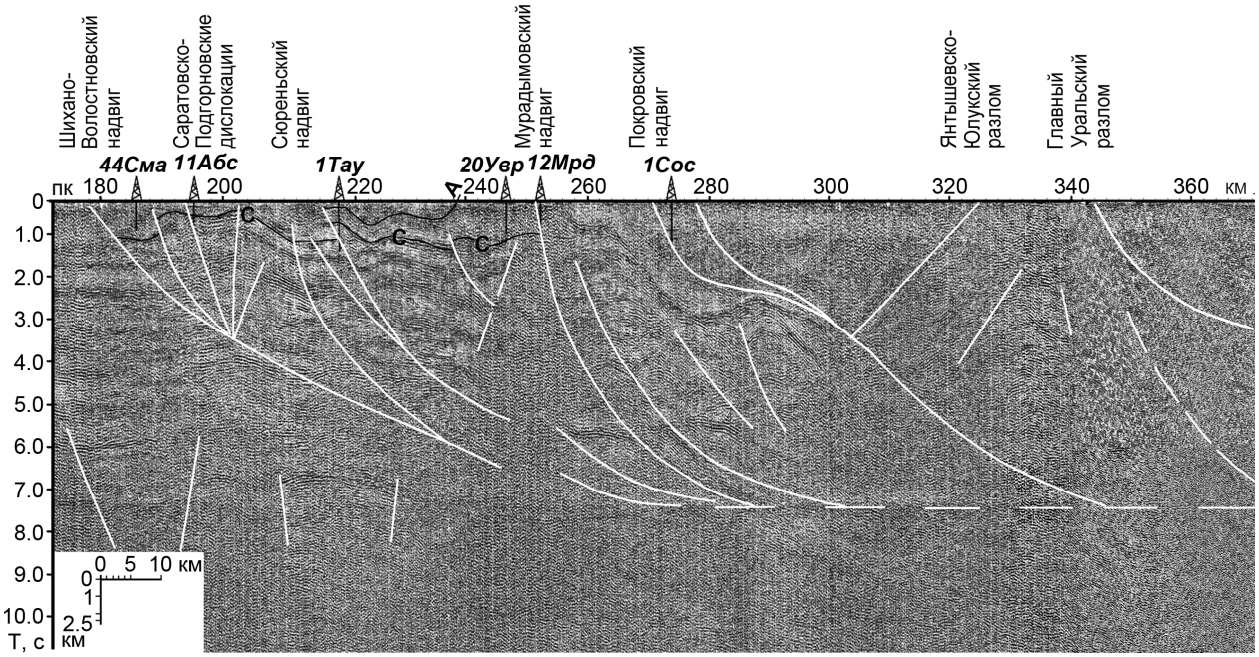

Рис. 5. Временной сейсмический разрез по профилю № 4 (фрагмент, восток):
А – граница выхода на поверхность кунгурских и артинских отложений; С – отражающий горизонт, приуроченный к кровле отложений карбона; 1 с приблизительно соответствует 2,5 км

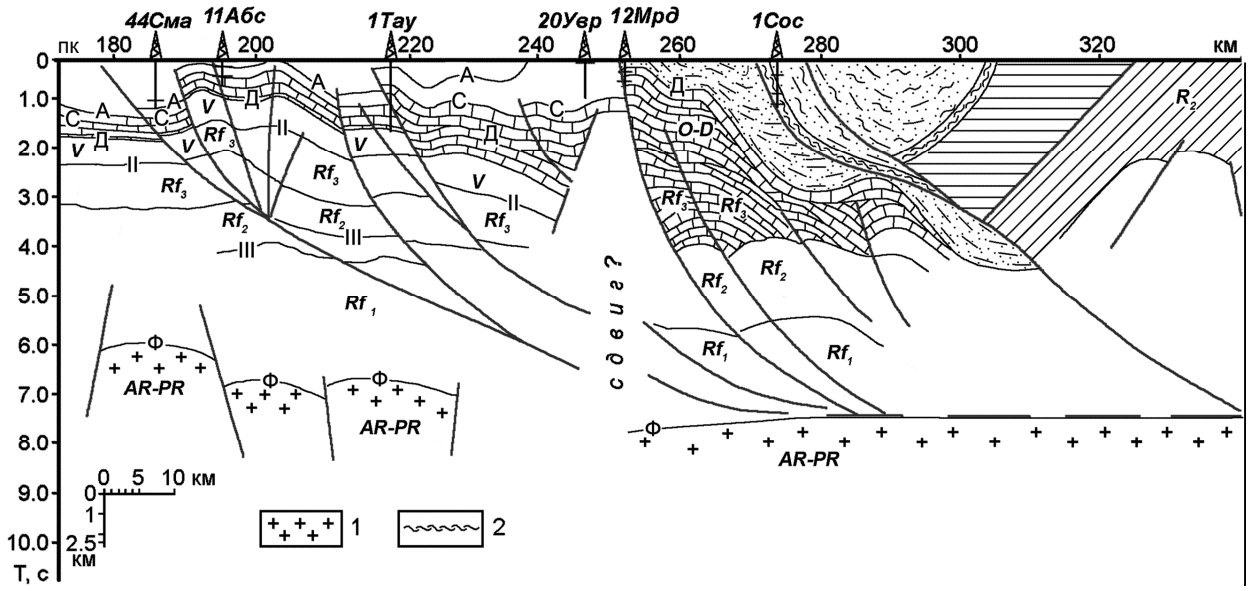

Рис. 6. Геологическая интерпретация фрагмента временного разреза по профилю № 4. Отражающие горизонты, приуроченные к кровле: А – артинских отложений нижней перми; С – отложений карбона; Д – отложений девона; III – верхней карбонатной толщи калтасинской свиты нижнего рифея. Отражающий горизонт II – межсистемная поверхность несогласия, типа «кровельного среза». Индексы стратиграфических подразделений: *V* – отложения венда; Rf_1, Rf_2, Rf_3 – нижне-, средне- и верхнерифейские отложения; *AR–PR* – кристаллический фундамент. 1 – кристаллический фундамент; 2 – ибрагимовский горизонт (D_3frib). Остальные условные обозначения см. рис. 1

на глубине 2–2,5 км. Вглубь разреза, отмечаются слоистые карбонаты, мощностью до 6 км, которые сменяются рифейскими отложениями. На восток от пикета 290 км наблюдается Покровский разлом, который выполаживается на времени около 3–3,5 с (на глубине примерно 7,5–8,0 км), затем вновь погружается до глубин, вероятно, 17–18 км. Вторая четкая сейсмическая граница – это рифейские породы на времени 5–5,5 с (глубина 12–13 км, пикет 260–290 км). Чрезвычайно важно подчеркнуть, что на западном борту синклинория палеозойские (ордовикско-франские) отложения, подстилающие зилаирскую свиту, представлены мелководными (шельфовыми) терригенно-карбонатными толщами Бельской структурно-фациальной зоны, причем сама зилаирская свита уже в автохтоне под западным краем её распространения замещается маломощными карбонатными отложениями фамена-турне (скв. *6Аст*). В восточном же борту синклинория палеозойские отложения, подстилающие зилаирскую свиту, представлены преимущественно терригенными и отчасти кремнисто-терригенными толщами суванякского комплекса, содержащими органические остатки (хитинозои, граптолиты, конодонты) ордовика-девона (Puchkov et al., 2002; Артюшкова и др., 2003; Мавринская, Якупов, 2009). По своим признакам они могут быть отнесены к Лемвинской структурно-фациальной зоне. В основании зилаирской свиты здесь практически непрерывно прослеживается горизонт кремнистых отложений, названный нами ибрагимовским, и повсеместно содержащий конодонты франа.

В 70-х–начале 80-х годов прошлого века этот горизонт считался силурийским и относился к бетринской свите до того момента, пока В.Н. Пучковым в них не были найдены франские конодонты. На севере Зилаирского синклинория, в 7 км южнее г. Белорецка, палеозойские отложения бельского и лемвинского типа сближаются друг с другом на минимальное расстояние и не обнаруживают фациальных перехо-

дов, что свидетельствует о значительном сближении по надвигу (рис. 7). На правом берегу р. Белой этот надвиг, по-видимому, выражен в виде необнаженной ложбины, шириной около 50 м, разделяющей девонские карбонаты (с запада) и зилаирские граувакки (с востока). Последние

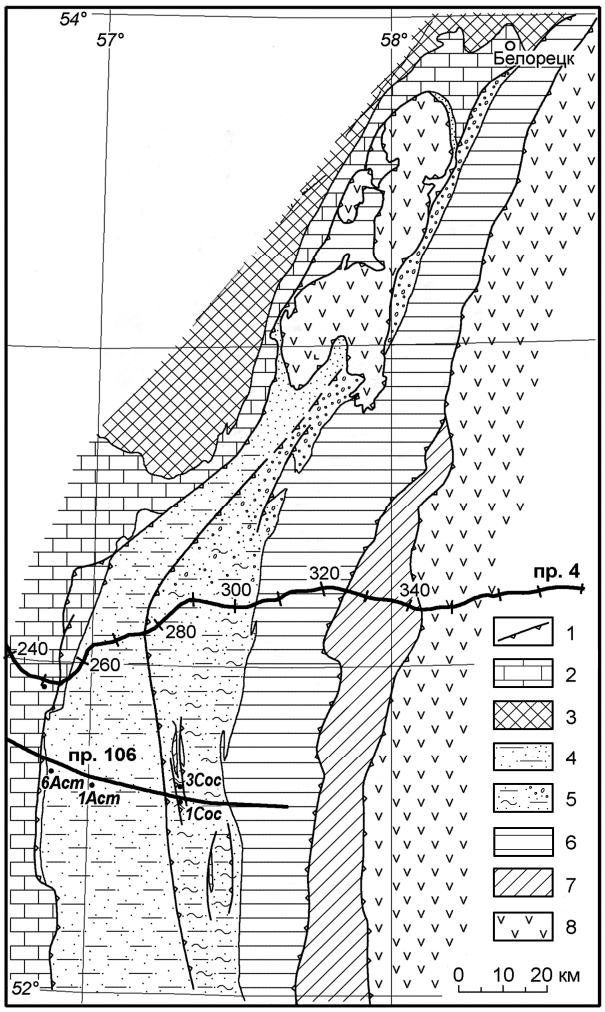

Рис. 7. Положение Покровской и Мурадымовской пластин на юге Зилаирского синклинория: 1 – надвиги (шарьяжи); 2 – шельфовый палеозой Бельского типа *(O-D_3^1)* – восточный борт Предуральского прогиба; 3 – докембрийский фундамент; 4, 5 – зилаирский комплекс (D_3 *fm*-C_1t): 4 – на шельфовых отложениях (Мурадымовская пластина) – западный борт Зилаирского синклинория, 5 – на батиальных отложениях (Покровская пластина); 6 – батиальный палеозой лемвинского типа *(O-D_3^1)* – суванякский комплекс (восточный борт Зилаирского синклинория); 7 – максютовский высокобарический метаморфический комплекс (PR-D_1^2); 8 – океанические и островодужные комплексы (O-D_3)

восточнее, в 2 км вкрест простирания в районе пос. Н. Ятва («Сланцы»), подстилаются кремнями ибрагимовского горизонта.

В оси синклинория основание зилаирской свиты наиболее погружено (по сейсмическим данным, подошва зилаирской свиты достигает в приосевой части глубин 6 км) (Bastida et al., 1997 и материалы обсуждаемого профиля). На юге и севере синклинория в его осевой части расположены синформные пакеты экзотических тектонических пластин Кракинских и Сакмарских покровов (Камалетдинов, 1974; Пучков, 2010). Среди надвигов в самой зилаирской свите и в породах её основания преобладают западновергентные, осложняющие западное крыло и центральную часть синклинория, в то время как восточновергентные развиты на восточном крыле (Alvarez-Marron et al., 2000; Bastida et al., 1997). Из них два надвига западной вергентности имеют особое значение и отличаются большой амплитудой, позволяющей квалифицировать их как шарьяжи: это западный, Мурадымовский надвиг, названный Зилаирским в работе (Bastida et al., 1997), и Покровский, названный в упомянутой работе Сосновским. Особенности надвигов выявляются, помимо изучения сейсмических материалов, также при анализе данных бурения глубоких скважин в их висячих крыльях. По данным (Камалетдинов, 1974; Светлакова, Горожанина, 2003) в типовом районе Мурадымово отложения зилаирской свиты надвинуты на опрокинутые каменноугольные отложения, а те, в свою очередь, – на девонско-турнейские карбонатные отложения, уже не содержащие зилаирской свиты в связи с её фациальным замещением. Вместе с тем, наблюдения в Мурадымовском ущелье, где основание зилаирской свиты обнажается несколько раз в связи со складчатостью и разрывными нарушениями, показывают, что эта свита согласно сменяет вверх по разрезу карбонатные палеозойские породы бельского типа через маломощное переслаивание граувакк и кремней с фаменскими конодонтами (Пучков и др., 1996).

Что же касается Покровского надвига,

то по данным бурения скважин *1Сос* и *3Сос* (Камалетдинов, 1974; Сенченко, 1977) в нижних частях разрезов зилаирской свиты этих скважин появляются кремнистые прослои, и наблюдается смена граувакк кремнями и вулканитами, отнесенными к бетринской свите силура (по современным данным, скорее всего фран). К востоку от этого надвига, хорошо видного на сейсмических профилях, среди зилаирской свиты появляются небольшие выходы кремней и кварцитов, которые М.А. Камалетдинов трактует как аллохтоны, принадлежащие офиолитовой ассоциации, а В.Н. Пучков – как пластины, сложенные породами основания зилаирской свиты (Пучков, 2011). Вне зависимости от этого, бурение показывает, что в основании зилаирской свиты в висячем крыле Покровского надвига залегают толщи лемвинского типа. Таким образом, граница между двумя фациальными типами палеозойского основания зилаирской свиты проходит по пологому Покровскому надвигу, который прослеживается на север под Кракинским аллохтоном до южной оконечности г. Белорецка и имеет значительную (но неопределимую количественно) горизонтальную амплитуду (см. рис. 6, 7).

Следует также отметить, что на пикете 287 км под висячим крылом Покровского надвига четко вырисовывается довольно крупная структура в карбонатах бельского типа. Структура расположена на глубине, порядка 6–7 км, и вполне возможна здесь залежь углеводородов (газа). На пикете 265 км, уже под Мурадымовским надвигом, тоже наблюдается небольшой перегиб карбонатов бельского типа, всего на глубине 2–2,5 км.

Все три разлома – Шихано-Волостновский, Сюреньский и Мурадымовский выполаживаются на одном уровне – около 7–8 с (примерно 17–18 км), что дает основание предполагать здесь существование детачмента. От последнего к поверхности отходят указанные разломы, и часто они раздваиваются.

Покровский разлом оперяется Янтышевско-Юлукским разломом восточной вергентности, выходящим на поверхность в районе пикета 325 км. По Янтышевско-Юлукскому разлому контактируют нижнепалеозойские отложения восточного борта Зилаирского синклинория и породы максютовского комплекса Уралтауского антиклинория.

Строение Уралтауского антиклинория

Уралтауский антиклинорий (пикеты 325–345 км) представляет собой крупный блок, расширяющийся на глубину, ограниченный с запада и востока разломами: Янтышевско-Юлукским и Главным Уральским (рис. 5, 6, 7). Антиклинорий отображается в виде несколько асимметричной положительной антиформной структуры, которая на дневной поверхности представлена метаморфическими породами. Главный Уральский разлом представляет собой тектоническую зону с падающими на восток разломами. По волновой картине сместитель Главного Уральского разлома (ГУР) не выделяется так четко, как этого можно было бы ожидать по гравитационным и магнитным данным, на которых зафиксирован резкий подъём значений гравитационного и магнитного полей, известный в геофизической литературе как «Уральский гравитационный максимум». Поверхность разлома ГУР сложена, как известно, серпентинитовым меланжем, который не может создать зеркального отражения. При выделении разломов упор делается на диффрагированные и другие «волны-помехи». Вследствие этого Покровский, Янтышевско-Юлукский и Главный Уральский разломы выделяются менее чётко, чем разломы на плитной части Русской платформы.

Заключение

Получены новые данные о строении восточных районов Восточно-Европейской платформы и краевых складок Урала. Установлено сдвиговое строение Зильдяровского (Шарлыкского) выступа фундамента, который выглядит как структура выжимания, выдвинутая в Серноводско-Абдулинский авлакоген. Уточнено строение Предуральского прогиба по глубоким горизонтам, западного и особенно восточного бортов. В центре

прогиба рифейско-вендские отложения, также как и палеозойские, вовлечены во взбросы и надвиги. Выделена переходная зона между прогибом и Зилаирским синклинорием, где наблюдается поворот вергентности структур и разломов и возможная зона сдвига.

Два надвига западной вергентности, Мурадымовский и Покровский, отличаются большой горизонтальной амплитудой, позволяющей квалифицировать их как шарьяжи. Под западными висячими крыльями этих шарьяжей можно наблюдать структуры в карбонатах бельского типа с возможными залежами углеводородов.

Крупные разломы-надвиги восточного борта Предуральского прогиба – Шихано-Волостновский и Сюреньский, а также Мурадымовский – выполаживаются на восток и на глубине 17–18 км (7–8 с) соединяются общим детачментом.

Авторы выражают благодарность руководителю Геофизической службы ОАО Башнефтегеофизика В.И. Разуваеву за предоставленные материалы и неоднократные консультации.

Литература

Артюшкова О.В., Якупов Р.Р., Абрамова А.Н., Маслов В.А. Новые данные о возрасте «бетринской свиты» на севере Восточно-Зилаирской зоны // Геологический сборник № 3. Информационные материалы ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2003. С. 53–54.

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

Мавринская Т.М., Якупов Р.Р. О возрасте суванякского комплекса зоны Уралтау // Геологический сборник № 8. Информационные материалы ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2009. С. 15–16.

Кухаренко Ю.Н., Меламед Б.М., Юнусов Н.К. Строение додевонских отложений по данным МОГТ на юго-востоке Русской платформы // Нефтегазовая геология и геофизика. 1978. № 2. С. 28–32.

Пучков В.Н., Пазухин В.Н., Барышев В.Н. Новые данные по стратиграфии зилаирской серии (Ю. Урал) // Ежегодник-1995. Уфа, 1996. С. 34–41.

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

Пучков В.Н. Снова о том же (Ответ на статью М.А. Камалетдинова) // Геологический сборник № 9. Информационные материалы ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2011. С. 151–152.

Светлакова А.Н., Горожанина Е.Н. Строение Зилаирского синклинория и зоны его сочленения с Предуральским прогибом по сейсмическим данным // Геологический сборник № 3. Информационные материалы ИГ УНЦ РАН. Уфа, 2003. С. 15–16.

Светлакова А.Н., Пучков В.Н., Горожанина Е.Н., Горожанин В.М. Типы и роль разломов в строении юго-восточной окраины Русской платформы по новым сейсмическим данным // Уральский геофизический вестник. 2010. № 1. С. 45–58.

Сенченко Г.С. Сверхглубокая скважина в Зилаирском синклинории на Южном Урале // Советская геология. 1977. № 7. С. 98–105.

Alvarez-Marrón J., Brown D., Pérez-Estaún A., Puchkov V., Gorozhanina Y. Accretionary complex structure and kinematics during Paleozoic arc-continent collision in the southern Urals // Tectonophysics. 2000. V. 325. P. 175–191.

Bastida F., Aller J., Puchkov V.N. et al. A cross-section through the Zilair nappe (southern Urals) // Tectonophysics. 1997. V. 276. No 1–4. P. 253–263.

Puchkov V., Brown D., Juhlin C., Paleozoic evolution of the East European continental margin involved into the Urals // Mountain Building in the Uralides: Pangea to the Present. AGU Geophysical Monograph Series. 2002. V. 132. P. 9–32.