

## ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ И МЕТАЛЛОГЕНИЯ УРАЛА: СОПОСТАВЛЕНИЕ ГЛУБИННОЙ СТРУКТУРЫ ЮЖНОГО, СРЕДНЕГО И ПОЛЯРНОГО УРАЛА

© 2013 г. С. А. Рыльков\*, А. В. Рыбалка\*\*, \*\*\*, К. С. Иванов\*\*\*\*

\*Департамент по недропользованию по Уральскому федеральному округу  
620014, г. Екатеринбург, ул. Вайнера, 55  
E-mail: ural@rosnedra.com

\*\*Баженовская геофизическая экспедиция

\*\*\*Всероссийский научно-исследовательский геологический институт  
199106, г. Санкт-Петербург, Средний пр., 74  
E-mail: a\_rybalka@mail.ru

\*\*\*\*Институт геологии и геохимии УрО РАН  
620075, г. Екатеринбург, Почтовый пер., 7  
E-mail: ivanovks@igg.uran.ru

Поступила в редакцию 14.03.2011 г.; доработана 15.06.2012 г.

В статье рассмотрено глубинное строение Урала по трем крупнейшим комплексным геолого-геофизическим профилям нового поколения, пересекающим Урал: 1) на севере Южного Урала – “Южно-Уральский трансект” (УРСЕЙС-95), международное название “URSEIS”; 2) в средней части Уральского складчатого пояса, на широте Уральской сверхглубокой скважины СГ4, – “Средне-Уральский трансект”, международное название “ESRU”; 3) на Полярном Урале – “Полярно-Уральский трансект”, или “PUT”. Эти профили, пересекающие все геологические структуры Урала, являются в настоящее время наиболее важными источниками комплексной геолого-геофизической информации о глубинном строении Уральского подвижного пояса и характере его сочленения с окружающими платформами. В глубинном строении Урала, в Южной, Средней и Полярной частях региона, есть определенные черты сходства и различия. Сходство заключается в первую очередь в присутствии единой последовательности общепольских структурных элементов. На Южном и Среднем Урале присутствует шовная зона, погружающаяся в мантию под зоной Главного Уральского разлома или несколько восточнее, и в той или иной степени прослеженная под Центрально-Уральским поднятием или Предуральским прогибом до глубин 75–80 км. Отличия строения различных сегментов Урала также существенны. На Полярном Урале не фиксируются тектонические структуры, пересекающие всю земную кору. На Южном и Среднем Урале фиксируется леводвиговая составляющая во взбросовых сместителях, на Полярном Урале она не описана. При внешнем морфологическом сходстве, Магнитогорская, Тагильская и Войкарская синформы имеют значительные различия в возрасте слагающих их геологических формаций; разновозрастные образования формировались в разных палеообстановках.

Ключевые слова: *глубинное строение Урала, сейсмический профиль, палеозой, металлогения.*

### ВВЕДЕНИЕ

Вопросам соотношения металлогении и глубинного строения складчатых поясов посвящено огромное количество литературы [5, 20, 33–35, 51, 55, 56 и мн. др.], в том числе и уральской [1, 3, 4, 9, 19, 21, 29–31, 36, 41, 46, 53, 54 и др.]. Практически все исследователи едины во мнении, что зависимость между глубинным строением и металлогенической специализацией тех или иных рудных районов и поясов несомненно существует. В первом приближении можно сказать, что признание этой связи есть главная, а зачастую и единственная черта сходства между очень различающимися между собой воззрениями разных исследователей. На Урале вза-

имосвязь между его глубинным строением и металлогенией (как для региона в целом, так и для его отдельных структурно-формационных и рудных зон) рассматривалась с разных теоретических позиций – от классической геосинклинальной [6, 37, 39, 52 и др.] до мобилистской [32, 45 и др.] и различных их модификаций [2, 20, 21 и др.]. Тем не менее, накопление очень большого нового фактического материала, еще малоизвестного в литературе, представленного результатами как геолого-съёмочных, тематических, научно-исследовательских работ [10–16, 23, 38 и мн. др.], так и комплексных геолого-геофизических исследований [8, 49 и др.] заставляют вернуться к этой, возможно, вечной геологической проблеме, вынесенной в заголовок данной ста-

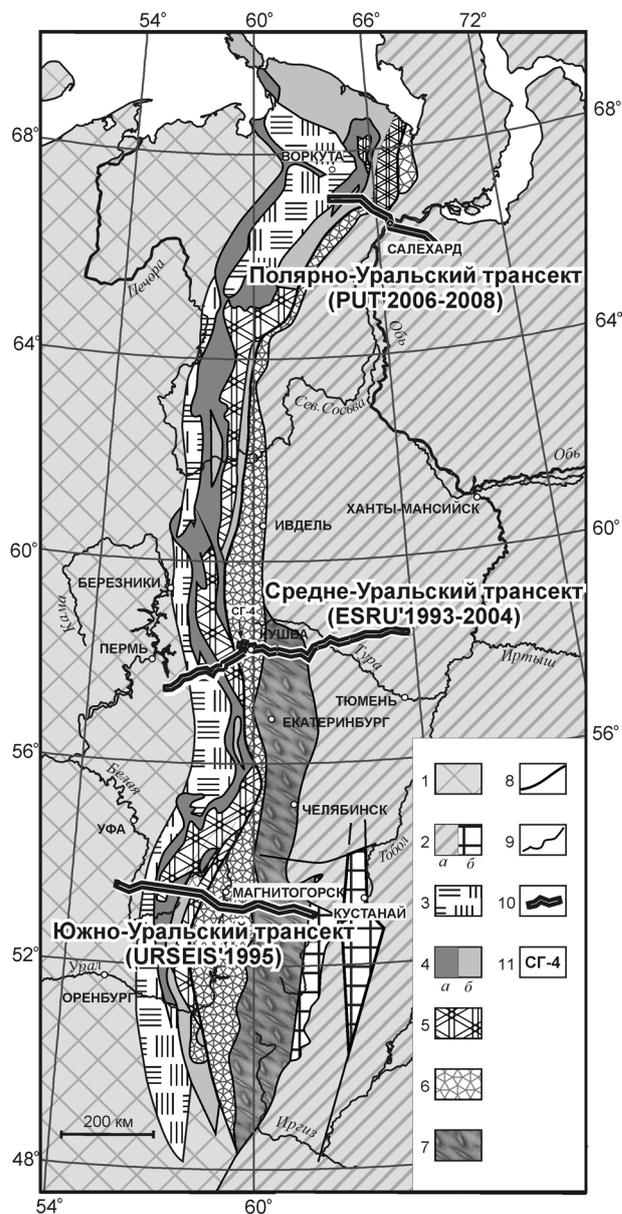
ты. Сделать это именно сейчас тем более важно, поскольку результаты выполнения первого этапа (2006–2009 гг.) крупнейшего для Урала федерального мегапроекта “Урал промышленный – Урал Полярный” пока не оправдывают радужных ожиданий, возложенных на него значительной частью общества и некоторыми специалистами и организациями.

Урал является одним из признанных мировых эталонов линейных складчатых орогенов с полным циклом геодинамического развития [27, 40, 45 и др.], он прошел следующие этапы: предрифтовый (рифей–венд); континентального рифтогенеза (кембрий–нижний ордовик); океанического спрединга (средний–верхний ордовик); островодужный (верхний ордовик–верхний девон); коллизионный (верхний девон–пермь); ограниченного пост-орогенного растяжения (триас) и субплатформенный.

Для Урала характерны такие уникальные черты, как присутствие глубинных “корней гор”, наличие хорошо сохранившихся офиолитовых и островодужных андезитоидных комплексов, пояса высокобарических метаморфитов, гранитно-метаморфического пояса, а также присутствие крупнейших и разнообразных рудных месторождений и др. В то же время, сравнительно слабая, в целом, обнаженность региона настоятельно требует комплексного использования разнообразных геофизических и геологических данных, без чего, в частности, невозможно построение не только научных геологических и геодинамических моделей строения и развития Урала, но и принятие адекватных и эффективных управленческих решений по освоению минерально-сырьевых ресурсов региона (в рамках Уральского федерального округа).

Уникальную и еще почти не использованную возможность для этого предоставляют три крупнейших комплексных геолого-геофизических профиля нового поколения, пересекающих Урал: 1) на севере Южного Урала – “Южно-Уральский трансект” (УРСЕЙС-95 или Уралсейс-95), международное название “URSEIS”; 2) в средней части Уральского складчатого пояса, на широте Уральской сверхглубокой скважины СГ4 – “Средне-Уральский трансект”, международное название “ESRU”; 3) на Полярном Урале “Полярно-Уральский трансект”, или “PUT” (рис. 1). Полярно-Уральский, Средне-Уральский трансекты и профиль Уралсейс, пересекающие все геологические структуры Урала, являются в настоящее время наиболее важными источниками комплексной геолого-геофизической информации о глубинном строении Уральского подвижного пояса и характере его сочленения с окружающими платформами. Необходимость прохождения нескольких опорных профилей была вызвана как стремлением создать объемную модель Уральского складчатого пояса, так и существованием

определенных различий геологического строения и минерагении различных фрагментов Урала.



**Рис. 1.** Положение опорных геолого-геофизических профилей нового поколения на схеме тектонического районирования Урала.

1 – отложения чехла Русской платформы; 2 – Западно-Сибирская плита; а – чехол, б – палеозойские отложения Зауральской мегазоны Урала под чехлом плиты; 3 – пермская моласса Предуральского краевого прогиба; 4 – Западно-Уральская мегазона: а – осадки Бельско-Елецкой зоны, б – Зилаирско-Лемвинской зоны; 5 – Центрально-Уральская мегазона; 6 – Тагило-Магнитогорская мегазона; 7 – Восточно-Уральская мегазона; 8 – Главный Уральский Глубинный разлом; 9 – границы мегазон и разломы; 10 – опорные профили нового поколения; 11 – Уральская сверхглубокая скважина СГ-4.

## ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ТРАНСЕКТ (УРСЕЙС-95)

УРСЕЙС-95 является наиболее крупным и дорогим комплексным геолого-геофизическим профилем через Урал, он был пройден в наиболее широком и представительном сечении региона, в северной части Южного Урала, по линии Стерлитамак – Николаевка, и пересек все структурно-формационные зоны Урала. УРСЕЙС-95 был выполнен в 1995 г. большим коллективом геофизиков России (Спецгеофизика, Баженовская геофизическая экспедиция, Башнефтегеофизика), Германии, Испании и США. Основными в комплексе геолого-геофизических исследований на профиле УРСЕЙС-95 были сейсмические наблюдения на слалом-профиле длиной 500 км. Наблюдения были проведены по методике глубинного МОВ-ОГТ (метод отраженных волн в модификации общей глубинной точки) на докритических отражениях с комбинированием взрывных и вибрационных источников. Кроме этого были проведены работы по методике ГСЗ (глубинных сейсмических зондирований) с использованием закритических отраженных и преломленных волн от 6 крупных взрывов (два из которых были произведены в 50 км севернее основной линии профиля). Полученный в результате обработки слалом-профиля комплексный сейсмический разрез длиной 465 км является сейчас одним из наиболее представительных в мире. Командой Института геологии и геохимии под руководством К.С. Иванова на основе собственных наблюдений и обобщения результатов геолого-съемочных работ была составлена среднemasштабная геолого-структурная карта-лента и геологический разрез через Южный Урал по линии Стерлитамак-Николаевка [62, 63]. Эти карта и разрез были сделаны в 1995 году непосредственно перед и для выполнения УРСЕЙС-95; они явились его геологической основой, постоянно использовавшейся при интерпретациях данного профиля [58–61, 67 и др.].

Урал, как известно, состоит из двух главных секторов – палеоконтинентального и палеоостроводужного.

**Западный Урал (палеоконтинентальный сектор)** представляет собой пассивную окраину Русской платформы, где выделяются три основных мегазоны (с запада на восток):

А. *Предуральский прогиб* пермского возраста, выполненный почти недеформированными платформенными осадками на западе и флишевыми комплексами, вовлеченными в складчато-надвиговые деформации, на востоке;

Б. *Западно-Уральская мегазона*, образованная преимущественно деформированными палеозойскими комплексами шельфа, континентального склона [44] и подножья. Последние выделены сравнительно недавно [22], они отличаются от отложений континентального склона литологией и гораздо большими мощностями – кремнистое осадкона-

копление сменяется здесь на терригенное. Батиальные формации пассивного континентального склона, а также офиолиты, обычно образуют в Западно-Уральской мегазоне крупные пластины, надвинутые на шельфовые терригенно-карбонатные осадки [28, 40, 44 и др.]; отложения континентального подножья проходят и далее на восток, в Центрально-Уральскую зону.

В. *Центрально-Уральская мегазона* образована смятыми и метаморфизованными в зеленосланцевой фации преимущественно терригенными комплексами, а также высоко-метаморфизованными выступами фундамента Русской платформы, вовлеченными в позднепалеозойские складчато-надвиговые и сдвиговые деформации коллизионного этапа. Кристаллический фундамент Русской платформы постепенно выклинивается в восточном направлении, по всей видимости, в результате пластического растяжения его нижней и средней части во время этапа континентального рифтогенеза [27 и др.].

Границей между палеоконтинентальным и палеоостроводужным секторами Урала является **Главный Уральский глубинный разлом (ГУГР)**. ГУГР состоит из нескольких крупных разломов, сливающихся на юге региона в единую зону, шириной до 20 км, падающую на восток. ГУГР прошел длительную эволюцию, в которой удается установить 4 главных этапа: 1) раннепалеозойский рифтовый разлом растяжения; 2) среднепалеозойская зона субдукции; 3) позднепалеозойский левый сдвиг-надвиг; 4) триасовый сброс.

**Восточный Урал (палеоостроводужный сектор)** состоит из двух главных разновозрастных островодужных террейнов: *Тагильского* (расположен на Среднем Урале и севернее, формировался с ордовика по нижний девон) и *Магнитогорского* (Южный Урал, нижний девон – карбон). Оба эти террейна формируют так называемую главную вулканогенную ось (мегазону) Урала с ярко выраженным гравитационным супермаксимумом. Строение этих островодужных террейнов, последовательно сталкивавшихся с Русской платформой, в принципе достаточно сходное, несмотря на их надежно доказанную разновозрастность (по множественным находкам конодонтов в прослоях яшм [27 и др.] и другими данными). Однако в Тагильском террейне, в его западной части, на поверхность выведены магматические комплексы глубинной части надсубдукционной зоны, представленные зональными дунит-клинопироксенит-габбровыми массивами Платиноносного пояса, протяженностью более 900 км.

Расположенные далее на восток Восточно-Уральская и Зауральская мегазоны обнажены лишь в южной части региона.

*Восточно-Уральская мегазона* образована гнейсовыми комплексами средней части коры и вмещает многочисленные гранитные плутоны, слагающие позднепалеозойскую “гранитную ось” Урала.

Изотопно-геохимические особенности этих гранитоидов позволили предположить их формирование над зоной субдукции [62, 63]. Отождествляемый с ней мощный падающий на запад глубинный шов позднее был выявлен под “гранитной осью” в результате выполнения сейсмопрофиля УРСЕЙС-95 [61 и др.]. Границами между террейнами Восточного Урала, как правило, являются разломные зоны, маркируемые меланжированными серпентинитами, где часто фиксируются левосторонние сдвиги.

### Глубинное строение Урала по данным УРСЕЙС-95

В Уральском складчатом поясе, по особенностям его глубинного строения, выделяется три крупных домена (сегмента): западный, центральный и восточный (рис. 2) [9, 58, 61, 67 и др.].

Западный домен включает восточную окраину Русской платформы с Предуральским прогибом, Западно-Уральской и Центрально-Уральской мегазонами и ограничен с востока ГУГРом. Центральный домен соответствует Магнитогорской мегазоне и Восточно-Уральскому поднятию. Восточный домен – это территория к востоку от восточной границы Восточно-Уральского поднятия – Карталинской разломной зоны. Граница Мохо, хорошо фиксируемая в западном и восточном доменах, постепенно погружается к центральной части орогена от

глубин примерно 40 км до 55 км. Далее под центральным доменом граница Мохо теряет четкость и имеет уже “диффузный” характер, но все же улавливается в преломленных волнах на глубине около 58 км, образуя четкий “коровый корень гор” (установленный еще ранее уральскими исследователями [17, 29, 49 и др.]).

Качественный высокоразрешающий сейсмопрофиль УРСЕЙС-95 хорошо показал общую бивергентную структуру Урала, образованную падением основных структурных элементов к центральной части складчатого пояса (западных – на восток, а восточных – на запад, что, впрочем, было установлено первоисследователями геологии Урала (А.П. Карпинский и др.) еще в XIX в.).

Особенно интересна восточная часть профиля УРСЕЙС-95, давшая много новой и важной информации для понимания строения восточных зон Урала и, в частности, обнаружившая несогласное утыкание коровых структур в границу Мохо [61]. Это дает основания предполагать, что граница Мохо под Уралом является более молодой – например, новообразованной в результате фазовых переходов, либо по ней прошел мощный тектонический срыв во время позднепалеозойской коллизии. Выявленные УРСЕЙС-95 в коре восточного домена мощные четкие отражатели падают на запад под углами 30–40° и прослеживаются до глубин 40 км и более. В случае их выходов на земную поверхность они иденти-

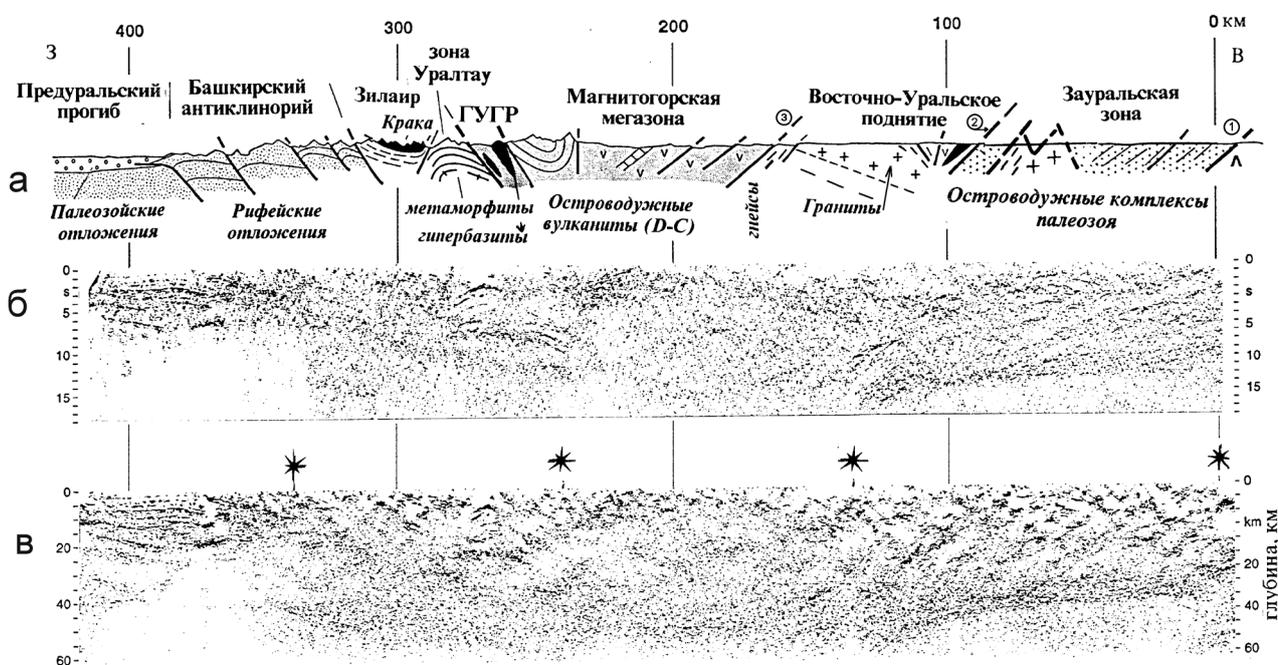


Рис. 2. Разрез через Южный Урал вдоль сейсмопрофиля УРСЕЙС-95 по линии Стерлитамак–Николаевка [60 и др.].

а – упрощенный геолого-тектонический разрез (топографический горный рельеф дан в масштабе 1:10) на основе [63]; б, в – вибросейсмические разрезы: б – временной (по вертикали – время двойного пути (TWT) до 18 с.) и в – мигрированный. Черными звездочками показаны пункты взрывов ГСЗ.

фицируются [9, 63 и др.] как крупные региональные разломные зоны, сложенные преимущественно милонитами, бластомилонитами, меланжированными серпентинитами и др. Наиболее значимыми из этих тектонических швов являются Николаевская и Карталинская разломные зоны. Фрагменты Николаевской зоны меланжа можно наблюдать по р. Аят, в 1–1.5 км восточнее деревни Николаевка. Здесь установлены следы дислокационного метаморфизма повышенных давлений, возраст меланжа – позднепалеозойский. Карталинская зона в обнажениях представлена преимущественно интенсивно дислоцированными офиолитами; она предположительно интерпретируется как позднепалеозойская зона субдукции. Судя по возрасту магматических комплексов, Карталинская зона моложе западной зоны субдукции (ГУГРа) и, следовательно, может пересекать ГУГР на глубине. В крупных разломных зонах востока Урала устанавливаются неоднократные дислокации, причем наиболее ярко обычно бывают проявлены левые сдвиги [57, 63 и др.], что связывается с косым (северо-западным) характером субдукции и последующей коллизией террейнов востока Урала с Русской платформой.

Для центрального домена, расположенного между Карталинской разломной зоной и ГУГРом, протяженные четкие отражатели не характерны [9, 58, 61]. Восточно-Уральское поднятие представлено в сечении Урсейса Джабыкским гранитным плутоном, который, по геофизическим данным, имеет глубину не более 8 км. Интересно, что ниже прозрачной верхней коры, здесь устанавливается серия среднекоровых отражателей мощностью около 15 км, полого падающих на восток и секущихся Карталинской зоной. Это очень хорошо соответствует модели формирования и глубинного строения Джабыкского плутона, разработанной в 1994 г. [62], т.е. до проведения сейсмопрофиля УРСЕЙС-95. Для Магнитогорской зоны характерен рассеянный, диффузный характер отражений.

Западный домен, т.е. территория к западу от ГУГРа (который падает на восток под углом  $\approx 45^\circ$  и достаточно уверенно прослеживается до глубины около 30 км), характеризуется высокоотражательной слоистой корой, где преобладают структурные элементы падающие на восток. Исключением является очень четко проявленная антиформа метаморфических пород зоны Уралтау (еще лучше зафиксированная рядом более ранних сейсмопрофилей “Башнефтегеофизики”, а также и геологическим картированием) и отделенная с обеих сторон сбросами [22 и др.].

Западнее и ниже этой антиформы устанавливается серия протяженных, падающих на восток отражателей прослеживающихся до глубины 30 км. Так, под Башкирским мегантиклинорием выявляется [61 и др.] 4 таких пакета отражателей, круто падающих на восток у поверхности и выполаживающихся книзу. Эти отражатели обычно считаются

надвигами, что, по видимому, не вполне согласуется с их листрическим характером, столь типичным для рифтовых разломов растяжения.

В западном конце профиля (380–465 км) видна высокоотражающая почти недеформированная слоистая призма осадочных пород палеозоя и позднего докембрия суммарной мощностью до 20 км, которая перекрывает слабоотражающий дорифейский кристаллический фундамент Русской платформы, мощностью около 24 км.

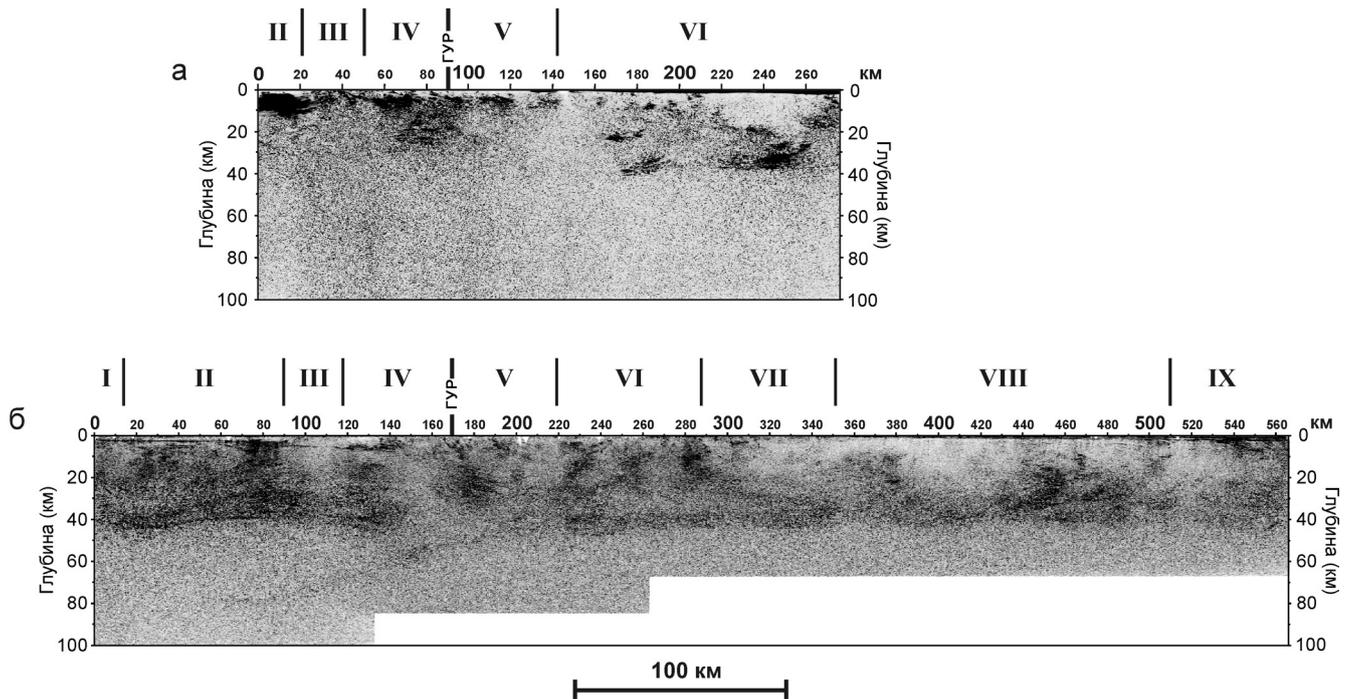
Таким образом, полученные результаты в комплексе с геологическими данными позволяют построить более полную модель строения литосферы региона. Сейсмопрофиль УРСЕЙС-95 еще очень долго будет являться опорным для Урала и одним из мировых эталонов.

### СРЕДНЕ-УРАЛЬСКИЙ ТРАНСЕКТ

В конце 2006 г. Баженовской геофизической экспедицией были закончены работы по обработке композиционного опорного геолого-геофизического профиля “Средне-Уральский трансект” (международное название ESRU – **Europrobe Seismic Reflection profiling in the Urals**) [42, 48, 49, 64, 66, 68, 69 и др.]. Общая длина отработанных сейсмических профилей составила 741 км. Субширотный трансект на западе начинается у г. Кунгур Пермской области, проходит рядом с городами Кушва, Красноуральск, пос. Басьяновский в Свердловской области и заканчивается на востоке у пос. Куминский в Тюменской области. Средне-Уральский трансект пересек все главные структуры Уральского орогена на широте Уральской сверхглубокой скважины СГ-4, начинаясь на западе в пределах Русской плиты Восточно-Европейской платформы и заканчиваясь в пределах Тюменско-Кустанайского прогиба Западно-Сибирской плиты (рис. 3). Основной объем работ был выполнен российскими геофизиками. На начальном этапе в полевых работах принимали участие исследователи из Швеции.

В результате обработки и переобработки сейсмических материалов по единому графу с учетом кривизны трассы профилей удалось получить сводный сейсмический разрез и геолого-геофизическую модель по Средне-Уральскому трансекту длиной 566 км (рис. 3). Были собраны, проанализированы, комплексно проинтерпретированы и включены в электронный атлас “Средне-Уральский трансект” обширные геолого-геофизические данные в 50-км полосе вдоль трансекта.

В связи с тем, что Средне-Уральский трансект пересек вкрест все Уральские структуры и проходит в очень разных сейсмогеологических условиях, выразительность сейсмического разреза на разных интервалах по латерали и глубине различная. Немигрированный временной разрез (особенно, без нормировки амплитуд после суммиро-



**Рис. 3.** Глубинные сейсмические разрезы МОВ-ОГТ по Полярно-Уральскому трансекту (а) и Средне-Уральскому трансекту (б).

Тектоническое районирование по И.Д. Соболеву (1983 г.): I – Восточная окраина Русской платформы, II – Предуральский краевой прогиб, III – Западно-Уральская внешняя зона складчатости, IV – Центрально-Уральское поднятие, V – Тагильско-Магнитогорский прогиб, VI – Восточно-Уральское поднятие, VII – Восточно-Уральский прогиб, VIII – Зауральское поднятие, IX – Тюменско-Кустанайский прогиб, ГУР – Главный Уральский разлом.

вания по ОГТ) показывает, что весь сейсмический разрез состоит из строго вертикальных полос большей или меньшей интенсивности, что определяется, главным образом, условиями возбуждения и приема сейсмических волн, т.е. поверхностными условиями, а не кажущейся вертикальностью геологических элементов в разрезе земной коры. На мигрированном глубинном сейсмическом разрезе ОГТ эти полосы микшируются и поверхностные условия не так явно сказываются на картине глубинного строения земной коры.

Одной из главных задач исследований на Средне-Уральском трансекте являлось построение глубинной геолого-геофизической модели земной коры, исходными данными для этого послужили: глубинный сейсмический разрез ОГТ по Средне-Уральскому трансекту; глубинные разрезы по данным ГСЗ по Красноуральскому, Ханты-Мансийскому профилям [18] и геотраверсу “Гранит” [29 и др.], качественные скоростные характеристики продольных волн в сечении трансекта по переобработанным годографам первых вступлений по этим профилям ГСЗ [65]; данные по распределению поля силы тяжести и аномального магнитного поля вдоль трансекта в плане (карты) и в разрезе (графи-

ки); выборки по физическим свойствам горных пород в полосе профиля; сведения о геологии поверхности.

На сейсмическом разрезе ОГТ на всю глубину исследований, отчетливо выделяется три сейсмоструктурных этажа: нижний, – почти не содержащий регулярных отражений; средний, – представленный, скорее, не отдельными отражающими границами, а отражающими зонами, дифференцированный по более или менее интенсивной отражательности, иногда с хаотичным, иногда с более упорядоченным распределением отражений; и верхний (только в западной и восточной части разреза), – содержащий наиболее контрастные протяженные субгоризонтальные отражающие границы. В общем, нижний сейсмоструктурный этаж соответствует мантии, средний – консолидированной земной коре, верхний – осадочному чехлу. Тем не менее, границы между этими этажами не везде отчетливы. Консолидированная земная кора делится, в свою очередь, на три подэтажа: верхнюю, среднюю и нижнюю кору.

В целом, наиболее яркие элементы верхней коры на Среднем Урале формируют его бивергентный образ, особенно в центральной части орогена (рис. 3), что ранее было установлено и для Южного Урала профилем Уралсейс-95. Нижняя кора также бивергентна, но ось её бивергентности смещена на 50–60 км к западу, по отношению к оси в верхней коре. Верхняя мантия при этом, скорее, моновергентна. В самом верху верхней мантии

можно заметить отдельные, очень слабые, границы западного падения, возможно, проникающие в мантию из нижней коры. Однако в целом, верхняя мантия представлена практически немой толщей, за исключением одной, достаточно выразительной полого падающей на запад отражающей зоны, прослеживаемой до глубин около 80 км. Эта зона прослеживается еще западнее, чем ось бивергентности нижней коры.

Подтверждено ранее отмечавшееся наличие мощной переходной зоны “кора–мантия” со значениями скоростей продольных волн 7.5–7.8 км/с (т.е. слишком высокими для типичной коры, но слишком низкими для мантии), что является одной из отличительных особенностей Уральского герцинского орогена.

Верхняя кора наиболее контрастна на сейсмическом разрезе. Именно здесь легко выделяются не только отражательные зоны (или зоны “рефлективности”), но и яркие отражающие границы, нередко группирующиеся в пакеты отражений. Многие из этих границ достаточно крутые, достигают углов падения 40–45°, а некоторые – и 60°. Более крутые границы, если и существуют в разрезе, то они практически не видны. Локальные зоны протяженных сильных границ проявляются, как правило, до глубин 10–15 км. Очевидно, это связано со сменой реологических свойств среды и переходом от преимущественно хрупких к преимущественно пластичным деформациям.

Природа сейсмических границ в верхней части разреза детально исследовалась во время экспериментов в районе Уральской сверхглубокой скважины (СГ-4) и в её стволе. Благодаря особенностям геологического строения, когда ряд наклонных отражающих границ подходит непосредственно к дневной поверхности, удалось надежно отождествить их с закартированными геологическими контактами. Было установлено, что наиболее яркие отражающие границы в районе скважины соответствуют тектоническим контактам, особенно, если эти контакты проходят вдоль сланцеватости пород.

Зона Главного Уральского глубинного разлома хорошо проявлена в верхней коре и является одним из самых ярких объектов на сейсмическом разрезе по Средне-Уральскому трансекту, подходя к дневной поверхности на пикетах 164–177 км. Он представлен мощной (шириной не менее 10 км) пачкой круто падающих на восток отражающих границ. На глубине около 10 км выразительность этих отражений резко снижается. В средней коре Главный Уральский глубинный разлом представлен не очень интенсивной отражающей границей, почти без выполаживания падающей под углом около 40° до глубин 30–35 км.

Наиболее сильными отражающими зонами на профиле являются сланцевые зоны и зоны тектони-

чески переработанных пород. В то же время, в областях развития осадочного чехла наиболее интенсивными являются отражения от контрастных слоев осадочной толщи, а тектонические нарушения в осадочном чехле редко маркируются четкими отражениями, и, скорее, могут быть выделены лишь по ступеням в прослеживаемых отражающих горизонтах. Практически не проявляются в сейсмических разрезах МОВ-ОГТ и мощные глубинные разломы, представленные на поверхности серпентинизированными поясами гипербазитов (например, Серовско-Маукский разлом на Среднем Урале, так же как и Главный Уральский глубинный разлом на Южном Урале по данным УРСЕЙС-95).

Доступные для наблюдения фрагменты гнейсово-амфиболитовых и гранулитовых комплексов Восточно-Уральской мегазоны имеют палеозойский (девонско–пермский) возраст и сформировались по гетерогенному субстрату (изотопно-геохронологические данные Г.А. Петрова, Ю.Л. Ронкина, А.В. Рыбалки [42]).

Специально ориентированные приемы обработки сейсмических материалов дают возможность проследить некоторые наклонные отражения в открытых сложно построенных областях вплоть до подхода их к дневной поверхности. Это позволило отождествить ряд сейсмических отражателей с картируемыми геологическими границами [42, 48, 49]. Таким образом, при исследованиях по Средне-Уральскому трансекту получен ряд принципиально новых сведений, позволяющих существенно уточнить систему взглядов на строение литосферы Урала и западной части Западной Сибири [48, 49]. Главными из них можно считать следующие:

1. Главные Уральские структуры – Западно-Уральская, Центрально-Уральская, Тагильская и значительная часть Восточно-Уральской мегазон находятся в аллохтонном залегании, то есть представляют собой частично сорванные бескорневые структуры. Местами под аллохтонами сохранились фрагменты осадочного чехла Восточно-Европейской платформы и Восточно-Уральского микроконтинента, возможно, перспективные на углеводородное сырье.

2. В целом, земная кора Урала имеет бивергентное строение. Ось бивергентности верхней и средней коры приходится на Тагильский мегасинклинорий. Нижняя кора также бивергентна, но ось ее бивергентности на Среднем Урале смещена на 50–60 км к западу по отношению к оси в верхней коре, в то время как на Южном Урале (по данным профиля URSEIS-95) черты бивергентности верхней и нижней коры соосны.

3. Верхняя мантия, скорее, моновергентна, но она практически лишена сейсмических отражателей, кроме одной полого падающей на запад отражающей зоны, прослеживаемой до глубин около 80 км. Эта тектоническая структура погружает-

ся в мантию под Центрально-Уральской мегазоной и прослеживается на глубине до середины области, над которой на картируемой поверхности выделяется Предуральский прогиб.

4. Область Главного Уральского разлома, представляющая собой на дневной поверхности мощную сланцевую зону, ярко выраженная на сейсмическом разрезе в верхней коре и падающая практически без выполаживания на восток под углом около  $45^\circ$ , не прослеживается глубже 30 км и срезается структурой, вероятно, продолжающей в земной коре упомянутую выше мощную внутримантийную зону западного падения.

5. Доступные для наблюдения фрагменты гнейсово-амфиболитовых и гранулитовых комплексов Восточно-Уральской мегазоны имеют палеозойский (девонско-пермский) возраст метаморфизма и сформировались по гетерогенному субстрату.

На рис. 4 представлено сопоставление геологической карты доюрского основания ХМАО [24] и сейсмического разреза по Средне-Уральскому трансекту. Совпадение выделенных (причем выделенных совершенно независимо друг от друга разными коллективами и на основании разных данных) структурно-формационных зон и крупных разломов представляется весьма наглядным и убедительным.

#### ПОЛЯРНО-УРАЛЬСКИЙ ТРАНСЕКТ

Генеральным подрядчиком работ на Полярно-Уральском трансекте (по заказу “Уралнедра”) была Баженовская геофизическая экспедиция, которая в 2006–2008 гг. выполнила сейсмические исследования МОВ-ОГТ и комплексную интерпретацию материалов. Субподрядные работы выполняли: ООО “Северо-Запад” – магнито-теллурические зондирования; Институт геологии и геохимии УрО РАН – геохимические и геохронологические исследования; ГФУП “ВНИИГеофизика” – исследования методом ГСЗ и методом обменных волн землетрясений (МОВЗ). Глубинная геологическая модель земной коры вдоль Полярно-Уральского трансекта была построена Г.А. Петровым, им же были сформулированы некоторые геологические выводы по результатам глубинных исследований вдоль этого трансекта.

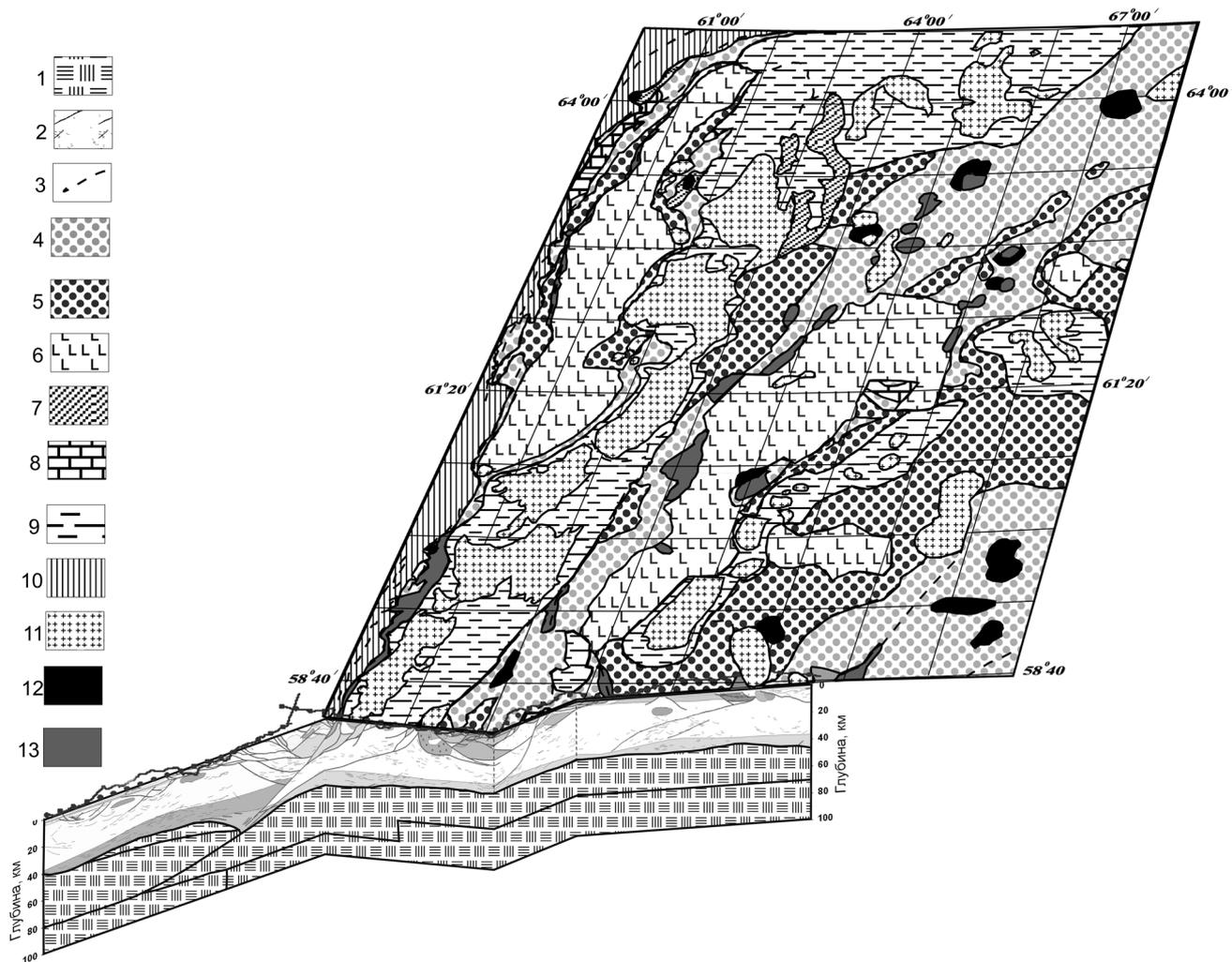
Полярно-Уральский трансект [50] имеет протяженность 300 км и также пересекает главные структуры Урала. Западная граница трансекта располагается в Предуральском прогибе, далее на восток он пересекает пакеты пластин Лемвинского аллохтона (терригенно-кремнистые формации континентального склона), Харбейский “антиклинорий” метаморфических пород, Войкарский синклинорий (вулканогенную мегазону) и Восточно-Уральскую мегазону, перекрытую чехлом мезозойско-кайнозойских осадков Западно-Сибирской плиты.

В результате работ получена современная глубинная геолого-геофизическая модель Полярного

Урала в сечении опорного геолого-геофизического профиля “Полярно-Уральский трансект”, состоящая из глубинной сейсмической модели (набор сейсмических разрезов, отражающих положение основных сейсмических границ и разломов в земной коре), глубинной геоэлектрической модели и комплексной геолого-геофизической модели, учитывающей как вновь полученные данные, так и имевшиеся геолого-геофизические материалы.

Наиболее выразительные элементы разреза МОВ-ОГТ (осадочный чехол и наклонные отражатели преимущественно тектонической природы в пределах открытого Урала) практически никак не отобразились на разрезах ГСЗ и МОВЗ. Более того, в складчато-надвиговой области Западного Урала все системы отражателей различного, в том числе, и крутого падения, и все объекты различной глубины залегания и возраста счет практически горизонтальная граница  $K_0$ . Таким образом, эта граница не имеет ничего общего со структурой верхней части разреза. Похожая картина складывается и на больших глубинах. И хотя в средней и нижней коре, как правило, отсутствуют крутонаклонные отражающие границы, тем не менее, и здесь в большинстве случаев субгоризонтальные границы ГСЗ секут пологонаклонные отражающие границы или области смены отражательности, фиксируемые на разрезе МОВ. Нижняя кора практически не проявилась в разрезе МОВ-ОГТ под Предуральским прогибом и под открытым Уралом, но выделилась амплитудно-выразительным крупным объектом в пределах основания Западно-Сибирской плиты. Анализ только разреза МОВ-ОГТ мог бы ошибочно натолкнуть на вывод, что отчетливо прослеживаемая нижняя кромка этого объекта (граница  $M_0$ ) является границей Мохоровичича, однако по данным ГСЗ установлено, что граничная скорость продольных волн на границе  $K_3$ , которая выделяется по данным ГСЗ в непосредственной близости от  $M_0$ , равна 6.95 км/с, что никак не может соответствовать границе Мохо. При этом граница  $M_0$  находится, по крайней мере, на 15 км выше границы Мохо (границы  $M$ ) и на 10 км выше кровли переходной зоны “кора-мантия” (границы  $K_4$ ), получаемых по данным ГСЗ. Граница Мохо надежно прослеживается по данным ГСЗ (хотя и имеет аномально низкую граничную скорость – 7.90–7.95 км/с) и не фиксируется по данным МОВ-ОГТ. Мощная (до 15 км) переходная зона между корой и мантией с геофизическими параметрами, промежуточными между коровыми и мантийными, имеет как минимум двухслойное строение.

На разрезе МОВЗ проявляется закономерное погружение сейсмических границ МОВЗ в подошве земной коры (в том числе границы, наиболее близкой к границе Мохо) от Предуральского прогиба к осевой части Урала (с 40 км до 58 км), что согласуется с поведением подобных границ на Среднем Урале на профиле МОВЗ Арты-Байкалово.



**Рис. 4.** Сопоставление геологической модели по Среднеуральскому трансекту с геологической картой фундамента ХМАО (в аксонометрической проекции).

1 – мантия; 2 – континентальная кора; 3 – геологические границы (главным образом разломы); 4 – эффузивы и вулканогенно-осадочные толщи девона; 5 – терригенно-карбонатные и терригенно-сланцевые толщи карбона; 6 – вулканиты (базальты, реже риолиты) и терригенные толщи триаса; 7 – базальты, андезито-базальты и другие эффузивы, нерасчлененные; 8 – известняки; 9 – метаморфические сланцы; 10 – выходы палеозойского фундамента на поверхность (или глубину менее 100 м); 11 – гранитоиды позднего палеозоя; 12 – габбро; 13 – ультрабазиты (преимущественно нацело серпентинизированные).

На глубинном разрезе ОГТ выделяются несколько зон как по вертикали, так и по латерали. По латерали хорошо проявляется (особенно в верхней и средней коре) разделение разреза на зоны, соответствующие структурам первого порядка: Восточно-Европейский палеоконтинентальный сектор (представленный Предуральским краевым прогибом, Лемвинским аллохтоном, Харбейским антиклинорием), Уральский палеостроводужный сектор (представленный Войкарским “синклинорием”), Западно-Сибирский мегабассейн. Положение не-

которых границ может быть уточнено по материалам исследований на Полярно-Уральском трансекте, так как на существующих картах они проводились, в основном, только с учетом данных поверхностной геологии и потенциальных полей, без привлечения сейсморазведочных методов, освещающих и более глубокие уровни разреза.

Предуральский прогиб представлен слоистой пачкой отражателей, соответствующих палеозойскому осадочному чехлу. До глубин около 2 км отражения очень слабые, далее интенсивные отраже-

ния прослеживаются до глубин 10 км, а в восточной части прогиба – до 15 км. Западная часть Лемвинского аллохтона (на интервале Бельско-Елецкой СФЗ) характеризуется хаотичным распределением слабых отражателей. Восточная граница этой зоны проявляется в отражающих границах восточного падения с кажущимся углом падения около 30–45°. Граница между палеоконтинентальным и палеостроводужным секторами – Главный Уральский глубинный разлом – проявляется в виде отражающей зоны с падением около 25° на восток. Прослеживается Главный Уральский разлом лишь до времени около 3 секунд, т.е. до глубин около 10 км. Дальше отражения в нем практически полностью затухают. Западная часть Войкарского антиклинория и весь плитный комплекс (Северо-Сосьвинский антиклинорий и Гортский синклинорий) перекрыты осадками Западно-Сибирского бассейна. Наиболее выразительно на разрезе МОВ-ОГТ видна граница осадочного чехла с подстилающим фундаментом. Границы внутри осадочного чехла менее интенсивны. В целом, фундамент монотонно погружается на восток до глубин 2 км у восточного конца разреза. Местами в поверхности фундамента проявляются синформные или грабенообразные погружения. Консолидированная верхняя и средняя кора под Северо-Сосьвинским антиклинорием, особенно, в его восточной части содержит наиболее низкий фон отражений (из всего разреза по Полярно-Уральскому трансекту).

В результате анализа и интерпретации всех новых данных и материалов предшественников была построена комплексная геолого-геофизическая модель в сечении трансекта [48, 49 и др.]. Полученные сейсмические материалы ОГТ позволяют проследить отдельные структуры в земной коре до глубины около 40 км, глубже интерпретация геологического строения производилась в основном по данным методов ГСЗ и МТЗ. Поскольку различные структуры имеют различную глубинность, на разных уровнях геологическое строение Урала представляется различным. Можно условно выделить четыре уровня, внутри которых структурное районирование имеет значимые различия: верхнекоровый (до 10–13 км), средне-нижнекоровый (10–40 км), переходный от коры к мантии (40–52 км), верхнемантийный (52–100 км).

*Верхнекоровый уровень (0–10 км)* изображен на предлагаемой модели наиболее уверенно. Западная часть трансекта пересекает фрагмент Предуральского прогиба, выполненного отложениями пермского возраста. Мощность пермских терригенных толщ увеличивается на восток, по направлению к Уральскому орогену, и составляет 3–6 км. Залегающие ниже ордовикско-каменноугольные карбонатно-терригенные отложения шельфа палеозойского Восточно-Европейского палеоконтинента имеют общую

мощность 5–6 км. В основании палеозойского разреза можно предположить наличие грабена, вероятно, выполненного грубообломочными позднекембрийско-раннеордовикскими образованиями мощностью до 1.5–2 км. Палеозойский разрез подстилается неопротерозойскими (рифейскими и вендскими) вулканогенными и осадочными толщами, коррелируемыми с бедамельской серией и энганэпэйской свитой, доступными для наблюдения севернее линии профиля, на хребтах Энганэ-Пэ и Манита-Нырды. Сейсмические отражатели в западной части профиля фиксируют, главным образом, залегание слоистости, реже – сбросовые и взбросовые сместители. Восточнее расположен субгоризонтальный Лемвинский шарьяжный пакет пластин, который прослеживается, по геофизическим данным, до глубины 2–3 км. Поверхность подошвы аллохтонного комплекса во многих местах соответствует основанию палеозойского разреза. Граница Лемвинского пакета пластин с Предуральским прогибом проходит по надвигу и крупному взбросо-сдвиговому (?) сместителю. Пластины слагаются палеозойскими толщами шельфа и континентального склона Восточно-Европейского палеоматерика, смятыми в асимметричные складки с осевыми поверхностями, субпараллельными главным сместителям. Глубже 2–3 км залегают неопротерозойские вулканогенные и терригенные образования, верхняя часть разреза которых, по всей видимости, соответствует вендской энганэпэйской свите и позднерифейской бедамельской серии. Предполагаемая подошва рифейского разреза постепенно поднимается в восточном направлении до 8 км. Сейсмические отражатели подчеркивают, главным образом, надвиговые сместители главной фазы деформаций. Предполагается гетерогенность рифейско-вендского разреза, обусловленная преобладанием вулканических или осадочных пород, что выражается варьированием плотности отдельных блоков от 2.71 до 2.82 г/см<sup>3</sup>.

Далее Полярно-Уральский трансект пересекает метаморфические образования Харбейского антиклинория – зеленые и углеродистые сланцы няровейской свиты R<sub>2</sub>, гнейсы и амфиболиты ханмейхойской свиты PR<sub>1</sub> с интрузиями гранитов. (Отметим, что рифейский или рифейско-протерозойский возраст метаморфических комплексов этой части региона весьма условен, но это отдельная проблема, которая здесь не обсуждается, см. [26, 43 и др.]). Метаморфический комплекс перекрыт субгоризонтальным тектоническим покровом матаалевролитов орангской свиты ордовика и серпентинитовым меланжем. По геофизическим данным, Харбейский “антиклинорий” представляет собой выдвинутый с востока блок кристаллических пород среднекоровых

метаморфических комплексов. На разрезе масштаба 1 : 1 000 000, построенном по генерализованной линии трансекта, тектонический покров орангской свиты полностью перекрывает западную часть Харбейского блока допалеозойских пород. В зоне разлома, разделяющего ордовикские и рифейские толщи, предполагается наличие линзовидного блока плотных пород, интерпретируемых как глаукофановые сланцы. Затем трансект проходит через Войкарский террейн, представленный в изучаемом районе глубинными магматическими и мантийными комплексами основания островодужной системы – гранитами собского, габброидами кэршорского и ультрамафитами райиз-войкарского комплексов. Террейн представляет собой синформную структуру мощностью до 9 км, ограниченную разрывными нарушениями восточного и западного падения. Восточная часть террейна перекрыта сплошным чехлом юрско-меловых осадков, в основании которого располагается грабен, выполненный угленосными триасовыми отложениями мощностью до 200 м. Далее на восток распространены мезозойско-кайнозойские морские и континентальные осадки чехла Западно-Сибирской плиты, в фундаменте которой прослеживаются структуры Восточно-Уральского гетерогенного террейна (микроконтинента?). Мощность осадочного чехла составляет от нескольких десятков метров в западной части площади его распространения до 1,5–2 км у восточной рамки трансекта. Восточная часть Полярно-Уральского трансекта пересекает несколько геологических структур в фундаменте Западно-Сибирской плиты, в том числе, метаморфические образования (предположительно амфиболиты с небольшим количеством гнейсов) Северо-Сосьвинского антиклинория. Западная граница метаморфического блока имеет западное падение, восточная часть его перекрыта офиолитовым аллохтоном. Вулканиты, вулканогенно-осадочные породы, ультрамафиты, габбро и граниты, входящие в состав Гортского синклинория и Восточно-Салехардской структурно-формационной зоны, перекрыты чехлом мезозойско-кайнозойских отложений. Западная часть Гортского синклинория представлена аллохтонным покровом, сложенным альпийскими ультрамафитами, габбро и вулканитами предположительно раннепалеозойского возраста. В центральной его части располагается крупный гранитоидный массив, хорошо фиксируемый минимумом гравиметрового поля. Восточная часть разреза вмещает небольшой габбровый массив и предположительно девонские вулканогенно-осадочные образования. В нижней части Гортской синформы отрисована пластина, полого погружающаяся на запад и, возможно, представляющая собой реликт палеозоны субдукции.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в глубинном строении Урала в Южной, Средней и Полярной частях региона есть определенные черты сходства и различия.

В Западном палеоконтинентальном секторе Урала это сходство заключается в присутствии единой последовательности общеуральских структурных элементов – с запада на восток это: Предуральский прогиб, Центрально-Уральское поднятие (на Полярном Урале перекрытое Лемвинским аллохтоном) и зона Главного Уральского глубинного разлома. На Южном и Среднем Урале присутствует падающая на запад шовная зона, погружающаяся в мантию под зоной Главного Уральского разлома или несколько восточнее, и в той или иной степени прослеженная под Центрально-Уральским поднятием или Предуральским прогибом до глубин 75–80 км.

Различия в строении отдельных сегментов Западного Урала также существенны. Главные из них следующие: повсеместное развитие мощного (до 15 км) рифейского разреза в фундаменте Предуральского прогиба на Южном и Полярном Урале, фрагментарность и маломощность его на Среднем Урале; значительно больший размер области тектонического влияния Уральского орогена на Южном Урале по сравнению со Средним и Полярным: на Южном Урале фронт деформаций (передовые надвиги) отстоит на 150–200 км от ГУГРа, на Среднем – на 70–80 км, на Полярном – на 90 км; область деформаций, охватывающих всю земную кору на Южном Урале распространяется на 70–120 км (по различным моделям), на Среднем Урале – на 20–25 км. На Полярном Урале не фиксируются тектонические структуры, пересекающие всю земную кору. Глубина расположения подошвы аллохтонного комплекса минимальна на Полярном Урале и максимальна – на Южном. На Южном и Среднем Урале фиксируется левосдвиговая составляющая во взбросовых сместителях, на Полярном Урале она не описана.

Кратко резюмируя черты сходства и различия центрального домена профиля УРСЕЙС-95 и соответствующих ему фрагментов Средне-Уральского и Полярно-Уральского трансектов, можно отметить следующее.

Морфологически общая структура этого фрагмента выглядит на всех профилях однотипно: синформа, ограниченная системами разломов со встречным падением (Магнитогорская на Южном, Тагильская на Среднем и Войкарская на Полярном Урале) граничит на востоке с блоком коры континентального типа, фрагментарно перекрытого аллохтонами и прорванного позднекаменноугольно-пермскими гранитами. Главные структурные направления линеаментов, интерпретируемые по сейсмическим данным, имеют в пределах этих блоков коры западное падение. При внешнем морфологическом сходстве, Магнитогорская, Тагильская

и Войкарская синформы имеют значительные различия в возрасте слагающих их геологических формаций; разновозрастные образования формировались в разных палеообстановках.

*Исследования выполняются при частичной поддержке проектов 12-П-5-1017, 12-5-6-003 АРКТИКА, 12-5-009-НДР.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьева Е.М., Золотов К.К., Лутков Р.И. и др.* Рудные месторождения и физические поля Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 295 с.
2. *Барышев А.Н.* Периодические геодинамические и металлогенические системы, их развитие и взаимодействие. М.: ЦНИГРИ, 1999. 263 с.
3. *Берлянд Н.Г.* Районирование Урала по типу строения земной коры // Советская геология. 1982. № 11. С. 78–89.
4. *Берлянд Н.Г., Водолазская В.П., Ерошевская Р.И. и др.* Палеогеодинамика Земной коры Уральской складчатой системы и ее металлогения // Геология и минерагения подвижных поясов. Екатеринбург. Уралгеолком, 1997. С. 119–140.
5. Генезис рудных месторождений / Под ред. Б. Скиннера. М.: Мир, 1984. Т. 1, 534 с. Т. 2, 404 с.
6. Геологическое развитие и металлогения Урала / К.К. Золотов, М.С. Рапопорт, Б.А. Попов и др. М.: Недра, 1981. 256 с.
7. Геотраверс “ГРАНИТ”: Восточно-Европейская платформа–Урал–Западная Сибирь (строение земной коры по результатам комплексных геолого-геофизических исследований) / Под ред. С.Н. Кашубина. Екатеринбург: ГУПР МПР России по Свердловской обл., Баженовская геофизическая экспедиция, 2002. 312 с.
8. Глубинное строение и геодинамика Южного Урала (проект УРАЛСЕЙС) / Гл. ред. А.Ф. Морозов. Тверь: Герс, 2001. 286 с.
9. Глубинное строение, тектоника, металлогения Урала / В.М. Нечухин, Н.Г. Берлянд, В.Н. Пучков, В.Б. Соколов. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1986. 108 с.
10. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 1 000 000 (новая серия). Лист Р-40, 41 – Североуральск. Объяснит. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 1995. 240 с.
11. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист Р-40 (Североуральск). Объяснит. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. 332 с.
12. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист Р-41 (Ивдель). Объяснит. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. 294 с.
13. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Уральская серия – Лист Q-41 (Воркута). Объяснит. зап. СПб.: ВСЕГЕИ, 2005. 335 с.
14. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Лист Р-40 – Североуральск / В.П. Водолазская, В.Н. Иванов, Г.А. Петров и др. Ред. М.А. Шишкин. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008.
15. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист Р-41 – Ивдель / Е.К. Ковригина, Я.Э. Файбусович, Г.А. Петров и др. Ред. Е.К. Ковригина. СПб.: ВСЕГЕИ, 2008.
16. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Южно-Карская серия – Лист R-41, СПб.: ВСЕГЕИ, 2008.
17. *Дружинин В.С., Рыбалка В.М., Соболев И.Д.* Связь тектоники и магматизма с глубинным строением Среднего Урала по данным ГСЗ. М.: Недра, 1976. 158 с.
18. *Дружинин В.С., Каретин Ю.С., Рыбалка В.М., Халевин Н.И.* Новые данные о глубинном строении Урала (по результатам исследований на Красноуральском профиле ГСЗ) // Докл. АН СССР. 1981. Т. 258, № 1. С. 173–176.
19. *Золотов К.К., Левин В.Я., Мормиль С.И., Шардакова Г.Ю.* Минерагения и месторождения редких металлов, молибдена, вольфрама Урала. Екатеринбург: МПР РФ, ГУПР по Свердловской обл., 2004. 336 с.
20. *Золотов К.К., Попов Б.А., Рапопорт М.С. и др.* Глубинное строение и металлогения подвижных поясов. М.: Недра, 1990. 192 с.
21. *Золотов К.К., Рапопорт М.С., Сурганов А.В., Хрынов В.Н.* Рудный потенциал Ханты-Мансийского автономного округа. Екатеринбург: Формат, 2001. 176 с.
22. *Иванов К.С.* Основные черты геологической истории (1.6–0.2 млрд. лет) и строения Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 1998. 252 с.
23. *Иванов К.С., Карстен Л.А., Малюски Г.* Первые сведения о возрасте субдукционного (эклогит-глагоукофанового) метаморфизма на Приполярном Урале // Палеозоны субдукции: тектоника, магматизм, метаморфизм, седиментогенез.: мат-лы V Междунар. науч. конф. “Чтения А.Н.Заварицкого”. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2000. С. 121–128.
24. *Иванов К.С., Коротеев В.А., Печеркин М.Ф. и др.* История геологического развития и строение фундамента западной части Западно-Сибирского нефтегазоносного мегабассейна // Геология и геофизика, 2009. Т. 50, № 4. С. 484–501.
25. *Иванов К.С., Ронкин Ю.Л., Bankwitz P., Bankwitz E.* Модель формирования Джабыкского гранитного плутона (Южный Урал) // Магматизм и геодинамика: мат-лы I Всерос. петрограф. совещ. Кн. 2. Уфа: ИГ УфНЦ РАН, 1995. С. 69–71.
26. *Иванов К.С., Смирнов В.Н., Ерохин Ю.В.* Тектоника и магматизм коллизионной стадии (на примере Среднего Урала). Екатеринбург: УрО РАН, 2000. 133 с.
27. *Иванов С.Н., Пучков В.Н., Иванов К.С. и др.* Формирование земной коры Урала. М.: Наука, 1986. 248 с.
28. *Камалетдинов М.А.* Покровные структуры Урала. М.: Наука, 1974. 231 с.
29. *Кашубин С.Н.* Многоволновая сейсмометрия при изучении структуры, состава и динамического состояния земной коры Урала. Дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Свердловск: ИГ УрО РАН, 1994. 47 с.
30. *Контарь Е.С., Нечухин В.М., Рыжий Б.П.* Региональная металлогения Урала и связь оруденения с глубинным строением. Свердловск: ИГГ УНЦ, 1985. 220 с.
31. *Костюченко С.Л., Егоркин А.В., Солодилов Л.Н.* Особенности литосферы Урала по результатам многоволнового глубинного сейсмического зондирования // Геотектоника. 1998. № 4. С. 3–18.

32. *Коротеев В.А., Сазонов В.Н.* Геодинамика, рудогенез, прогноз. Екатеринбург, 2005. 258 с.
33. *Кривоцов А.И.* Прикладная металлогения. М.: Недра, 1989. 288 с.
34. Критерии прогнозной оценки территорий на твердые полезные ископаемые / Под ред. Д.В. Рундквиста. Л.: Недра, 1986. 751 с.
35. Недра России. Полезные ископаемые / Ред. Н.В. Межеловский, А.А. Смыслов. СПб.–М.: Геоинформмарк, 2001. 547 с.
36. *Овчинников Л.Н.* Полезные ископаемые и металлогения Урала. М.: Геоинформмарк, 1998. 412 с.
37. *Огаринов И.С.* Глубинное строение Урала. М.: Наука, 1974. 86 с.
38. Основные черты геологического строения и минерально-сырьевой потенциал Северного, Приполярного и Полярного Урала / Ред. А.Ф. Морозов, О.В. Петров, А.Н. Мельгунов. СПб.: ВСЕГЕИ, 2010. 274 с.
39. *Охотников В.Н.* Геология рудных образований Полярного Урала. Л.: Наука, 1975. 175 с.
40. *Пейве А.В., Иванов С.Н., Нечехин В.М. и др.* Объяснительная записка к тектонической карте Урала масштаба 1 : 1 000 000. М.: Недра, 1977. 119 с.
41. *Перфильев А.С.* Формирование земной коры Уральской эвгеосинклинали. – М., Наука, 1997, 188 с.
42. *Петров Г.А.* Геология и минералогия зоны Главного Уральского разлома на Среднем Урале. Екатеринбург: УГГУ, 2006. 195 с.
43. *Прямоносов А.П., Степанов А.Е., Бороздина Г.Н.* О возрасте хараматолоуской серии (Полярный Урал) // Уральский геологический журнал. 2000. № 2 (14). С. 51–54.
44. *Пучков В.Н.* Батические комплексы пассивных окраин геосинклинальных областей. М: Наука, 1979. 260 с.
45. *Пучков В.Н.* Геология Урала и Приуралья. Уфа: Дизайн-ПолиграфСервис, 2010. 280 с.
46. *Рыбалка А.В.* Отраженный образ земной коры в районе Уральской сверхглубокой скважины СГ 4 // Глубинное строение и развитие Урала. Екатеринбург: Наука, 1996. С. 237–250.
47. *Рыбалка В.М., Ананьева Е.М., Кашубин С.Н. и др.* Глубинное строение Урала по геофизическим данным // Геология и минерагения подвижных поясов. Екатеринбург: Уралгеолком, 1997. С. 101–118.
48. *Рыбалка А.В., Кашубина Т.В., Петров Г.А., Кашубин С.Н.* Среднеуральский трансект: новые данные по глубинному строению Урала // Модели земной коры и верхней мантии по результатам глубинного сейсмопрофилирования. СПб: ВСЕГЕИ, 2007. С. 186–191.
49. *Рыбалка А.В., Петров Г.А., Кашубин С.Н., Юхлин К.* Среднеуральский трансект ESRU // Структура и динамика литосферы Восточной Европы. Вып. 2. Результаты исследований по программе ЕВРОПРОБА. М.: ГЕОКАРТ, ГЕОС, 2006. С. 390–401.
50. *Рыбалка А.В., Петров Г.А., Кашубина Т.В. и др.* Глубинное строение Урала по данным Полярно-Уральского трансекта // Региональная геология и металлогения. 2011. № 48. С. 25–36.
51. *Смирнов В.И.* Геология полезных ископаемых. М.: Недра, 1989. 326 с.
52. *Соболев И.Д.* Основные черты глубинного строения Урала // Глубинное строение Урала. М.: Наука, 1968. С. 28–37.
53. *Соколов В.Б.* Строение земной коры Урала // Геотектоника. 1992. № 5. С. 3–20.
54. *Таврин И.Ф., Халевин Н.И.* Геофизические модели земной коры Урала // Геотектоника. 1990. № 3. С. 39–49.
55. Фундаментальные проблемы геологии месторождений полезных ископаемых и металлогении. М.: МГУ, 2010. 266 с.
56. *Щеглов А.Д.* Основы металлогенического анализа. М.: Недра, 1980. 431 с.
57. *Bankwitz P., Ivanov K.S.* The shear belt of the eastern Urals—evidence for oblique collision of the South Urals // Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала. Тез. докл. VI Уральского петрограф. совещ. Ч. 2. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН, 1997. С. 54–58.
58. *Berzin R., Onken O., Knapp J.H. et al.* Orogenic evolution of the Urals mountains: results from an integrated seismic experiment // Science. 1996. V. 274. P. 220–221.
59. *Carbonell R., Perez-Estaun A., Gallart J. et al.* Crustal root beneath the Urals: Wide angle seismic experiment // Science. 1996. V. 274. P. 222–223.
60. *Diaconescu C.C., Knapp J.H., Brown L.D. et al.* Precambrian Moho offset and tectonic stability of the East-European platform from the URSEIS deep seismic profile // Geology. 1998. V. 26, № 3. P. 211–214.
61. *Echtler H.P., Stiller M., Steinhoff F. et al.* Preserved collisional crustal structure of the southern Urals revealed by Vibroseis profiling // Science. 1996. V. 274. P. 224–225.
62. *Ivanov K.S., Karsten L.A., Maslov A.V. et al.* EURO-PROBE Guidebook. South Urals Seismoprofile Area. Екатеринбург: Urals Branch of RAS, 1995. 115 p.
63. *Ivanov K.S. et al.* The geological strip-map and geological cross-section across the Southern Urals along the line of future Urseis-95 seismic profile Sterlitamak–Nikolaevka. Scale 1 : 140 000. Urseis-95 initial data. 1995. 9 lists.
64. *Juhlin C., Friberg M., Echtler H. et al.* Crustal structure of the Middle Urals: results from the ESRU experiments // Tectonics. 1998. V. 17, № 5. P. 710–725.
65. *Kashubin A.S., Tryggvason A., Juhlin C. et al.* The Krasnouralsky profile in the Middle Urals, Russia: a tomographic approach to vintage DSS data // Tectonophysics. 2009. V. 472, № 1–4. P. 249–263.
66. *Kashubin S., Juhlin C., Friberg M. et al.* Crustal structure of the Middle Urals based on reflection seismic data // European Lithosphere Dynamics. Geological Society of London. Memoirs. 2006. 32. P. 427–442.
67. *Knapp J.H., Steer D.N., Brown L.D. et al.* Lithosphere-scale seismic image of the southern Urals from explosion-source reflection profiling // Science. 1996. V. 274. P. 226–227.
68. *Rybalka A., Petrov G., Kashubin S., Juhlin C.* Paleozoic mantle-crustal orogenic structures and present surface geological features of the middle Urals (based on the ESRU transect data) // The 13th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents and Their Margins. Saariselka, Finland. 2008. P. 77.
69. *Rybalka A., Petrov G., Kashubina T., Aniskin A.* Crustal structure along the Polar-Urals transect, Russia, based on multidisciplinary deep seismic and integrated studies // The 14th International Symposium on Deep Seismic Profiling of the Continents and Their Margins. Cairns, Australia, 2010. P. 103.

Рецензент С.Н. Кашубин

## **Deep structure and metallogeny of the Urals: The comparison of deep structure of Southern, Middle and Polar Urals**

**S. A. Rilkov\*, A.V. Rybalka\*\*, \*\*\*, K. S. Ivanov\*\*\*\***

*\*Department of mineral resources in the Urals Federal District*

*\*\*Bazhenovskaya Geophysical Expedition*

*\*\*\*All-Russia Geological Research Institute*

*\*\*\*\*Institute of Geology and Geochemistry, Urals Branch of RAS*

The deep structure of the Urals along three new biggest complex geology-geophysical profiles transecting the Urals: 1) in the north of Southern Urals – “South-Uralian transect”, international name is “URSEIS-95” 2) in the middle part of the Urals folded belt at the latitude of the Urals superdeep borehole SD-4 – “Middle-Uralian transect”, international name – “ESRU” 3) in the Polar Urals – “Polar-Uralian transect” or “PUT” are considered in the paper. These profiles intersecting all geological structures of the Urals are now the most important sources of geology-geophysical information on the deep structure of the Urals folded belt and the character of its conjunction with the surrounding platforms. There are the certain features of similarity as well as the differences in the deep structure of the southern, middle and northern parts of the Urals. The similarity consists, in the first turn, in presence of a single sequence of the all-Uralian structural elements: the suture zone, plunging into a mantle under the the Main Uralian fault, or some eastward, in degree traced in the Southern and Middle Urals under the Central Uralian uplift, or, Pre-Uralian trough up to the depth of 75–80 km. The differences of structures of the Urals are also significant. In the Polar Urals tectonic structures which intersect the whole earth crust are not fixed. In the Southern and Middle Urals the sinistral component in upthrust faults is fixed, in the Polar Urals it has not been described. The Magnitogorsk, Tagil and Voikar synforms have considerable outward morphological resemblance but they differ in the age of geological formations composing them and synchronous formations have been formed in different paleogeodynamic conditions.

Key words: *deep structure of the Urals, seismic profile, Paleozoic, metallogeny.*