УДК 55(1/9)

А.С.ЕГОРОВ, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, asegorov@spmi.ru*
О.Е.СМИРНОВ, *аспирант, smirnov.olegevg@gmail.com*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург
И.Ю.ВИНОКУРОВ, *канд. геол.-мин. наук, главный геолог, i.vinokurov@sevmorgeo.com*
А.П.КАЛЕНИЧ, *канд. геол.-мин. наук, ведущий специалист, kalenich@sevmorgeo.com*
ФГУ НПП «Севморгео», Санкт-Петербург

A.S.EGOROV, *Dr. in geol. & min. sc., professor, asegorov@spmi.ru*
O.E.SMIRNOV, *post-graduate student, smirnov.olegevg@gmail.com*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg
I.Ju.VINOKUROV, *PhD in geol. & min. sc., chief geologist, i.vinokurov@sevmorgeo.com*
A.P.KALENICH, *PhD in geol. & min. sc., leading specialist, kalenich@sevmorgeo.com*
State Sevmorgeo Company, Saint Petersburg

СХОДСТВО И ОТЛИЧИЯ В СТРОЕНИИ УРАЛЬСКОЙ И ПАЙХОЙ-НОВОЗЕМЕЛЬСКОЙ СКЛАДЧАТЫХ ОБЛАСТЕЙ

Рассматриваются особенности глубинного строения и вещественного состава Уральской (УСО) и Пайхой-Новоземельской (ПНСО) складчатых областей, комплексные исследования которых выполнены с использованием данных геолого-геофизических исследований вдоль опорных геофизических профилей (геотраверсов). В составе глубинного разреза УСО выделяются характерные элементы коллизионных орогенов: деформированная окраина погружавшейся плиты, сутурная зона и деформированная окраина перекрывающей плиты. Участие в позднепалеозойской коллизии палеоплит «Балтия» и «Казахстан» микроплит с корой континентального типа привело к усложнению классической модели коллизионного орогена за счет включения в разрез УСО и дополнительных блоков и сутурных зон. Зональность ПНСО не характерна для классических коллизионных орогенов. В ее сечении моделируется складчато-надвиговый пояс, заложенный на окраине палеоплиты «Свальбард». При этом интенсивность складчато-надвиговых деформаций уменьшается в направлении остаточного океанического бассейна, моделируемого в фундаменте Южно-Карской осадочной впадины.

***Ключевые слова*:** глубинное строение, геотраверсы, Уральская и Пайхой-Новоземельская складчатые области.

SIMILARITY AND DIFFERENCE IN STRUCTURE OF THE URAL AND PAIKHOY-NOVAYA-ZEMLIA FOLD BELTS

Characteristic features of deep structure and composition of Ural (UFB) and Paikhoy-Novaya-Zemlia (PNZFB) fold belts, which were investigated with the use of results of geological and geophysical investigations along reference geophysical profiles (geotransects) are considered. In the structure of Uralian deep sections typical elements of collisional orogen are distinguished: deformed margin of submerged plate, suture zone and deformed margin of override plate. Participation in the process of the Late Paleozoic collision more than «Baltic» и «Kazakhstan» plates, but micro plates of continental type lead to complication of typical model of collision orogen due to inclusion into the UFB deep structure additional blocks and suture zones. PNZFB zonality is not typical for classical collision orogens. Fold-thrust belt on the «Svalbard» plate margin is modeled in its deep section. Intensity of the fold-thrust deformations decreases to relict oceanic basin, which is modeled in the basement of the South-Kara sedimentary depression.

***Key words*:** deep structure, geotransects, Ural and Paikhoy-Novaya-Zemlia fold belts.

Введение. Уральская и кажущаяся ее продолжением Пайхой-Новоземельская складчатые области протягиваются вдоль границы Европейского и Азиатского континентов от северной границы Прикаспийской впадины до океанического бассейна Арктики. Часто эти пояса рассматриваются как однотипные структуры, имеющие лишь разный возраст складчатости. Результаты выполненных нами комплексных геолого-геофизических исследований глубинного строения континентальной и шельфовой частей России позволили оценить параметры их сходства и различия.

Тектоническое районирование Уральской, Пайхой-Новоземельской складчатых областей и геоструктур их обрамления. Результатом комплексной интерпретации региональных геологических и геофизических съемок региона исследований является схема палеоплит, которая отражает расположение и современную конфигурацию континентальных частей древних литосферных плит (в разрезе современной коры – блоков с корой континентального типа) и межблоковых (сутурных) зон (рис.1). Тектоническая схема, представленная на этом же рисунке, отображает композитный состав разновозрастных складчатых областей, включающий деформированные окраины смежных палеоплит и структуры, сформированные на месте закрывшихся океанических бассейнов, – сутурные зоны и микроплиты.

Особенности глубинного строения земной коры Уральской и Пайхой-Новоземельской складчатых областей раскрываются по результатам геолого-геофизического моделирования в сечениях четырех опорных геофизических профилей (геотраверсов).

Уральская складчатая область. Согласно результатам комплексных геолого-геофизических исследований вдоль геотраверсов Уральская складчатая область (УСО) является классическим коллизионным орогеном, сформированным в результате позднепалеозойской аккреции континентальных плит «Балтия», «Казахстан», нескольких микроплит и островных дуг в условиях закрытия Уральского океанического бассейна[*]. Таким образом, УСО – это орогенический коллаж, объединяющий деформированные окраины континентальных плит «Балтия» и «Казахстан», несколько микроплит с корой континентального типа и сегменты островных дуг и древней океанической коры[**]. Орогенез сопровождался интенсивным проявлением складчатых и разрывных деформаций, горообразованием, магматизмом и региональным метаморфизмом.

В строении верхней коры УСО, в соответствии с направлением погружения зоны субдукции в западном (в современных координатах) направлении, устанавливается четкая зональность: форланд – деформированная окраина пододвигающейся палеоплиты «Балтия», хинтерланд – деформированная окраина перекрывающей палеоплиты «Казахстан». Между ними располагаются блоки (микроплиты) с континентальной корой и сутурные зоны, выполненные комплексами океанической коры и энсиматических островных дуг.

Эти особенности глубинного строения выдерживаются в сечениях Южного, Среднего и Северного Урала.

Глубинный разрез Южного Урала в сечении профиля методов отраженных волн и общей глубинной точки (МОВ-ОГТ) «Уралсейс». Этот профиль протяженностью 510 км в широтном направлении пересекает структуры юго-восточного фланга Восточно-Европейской платформы (ВЕП), южную часть УСО и северо-западный фланг Казахстанской складчатой области (рис.2).

---

[*] *Егоров А.С.* Модель глубинного строения коллизионного орогена уральского типа // Общие вопросы тектоники. Тектоника Азии: Мат. XXXIII Тектонического совещания. М.: ГЕОС, 2000. С.171-175.

Egorov A.S. Model deep structure of collision orogen of Uralian type // General problems of tectonics. Tectonics of Asia: Materials of XXXIII Tectonics conference. Moscow:GEOS, 2000. P.171-175.

[**] *Егоров А.С.* Глубинное строение и геодинамика литосферы Северной Евразии (по результатам геолого-геофизического моделирования вдоль геотраверсов России / ВСЕГЕИ. СПб, 2004. 200 с.

Egorov A.S. Deep structure and geodynamics of the North Eurasia lithosphere (according to the results of geological-geophysical modeling along global geoscience transects of Russia). Saint Petersburg: VSEGEI publishing house, 2004. 200 p.

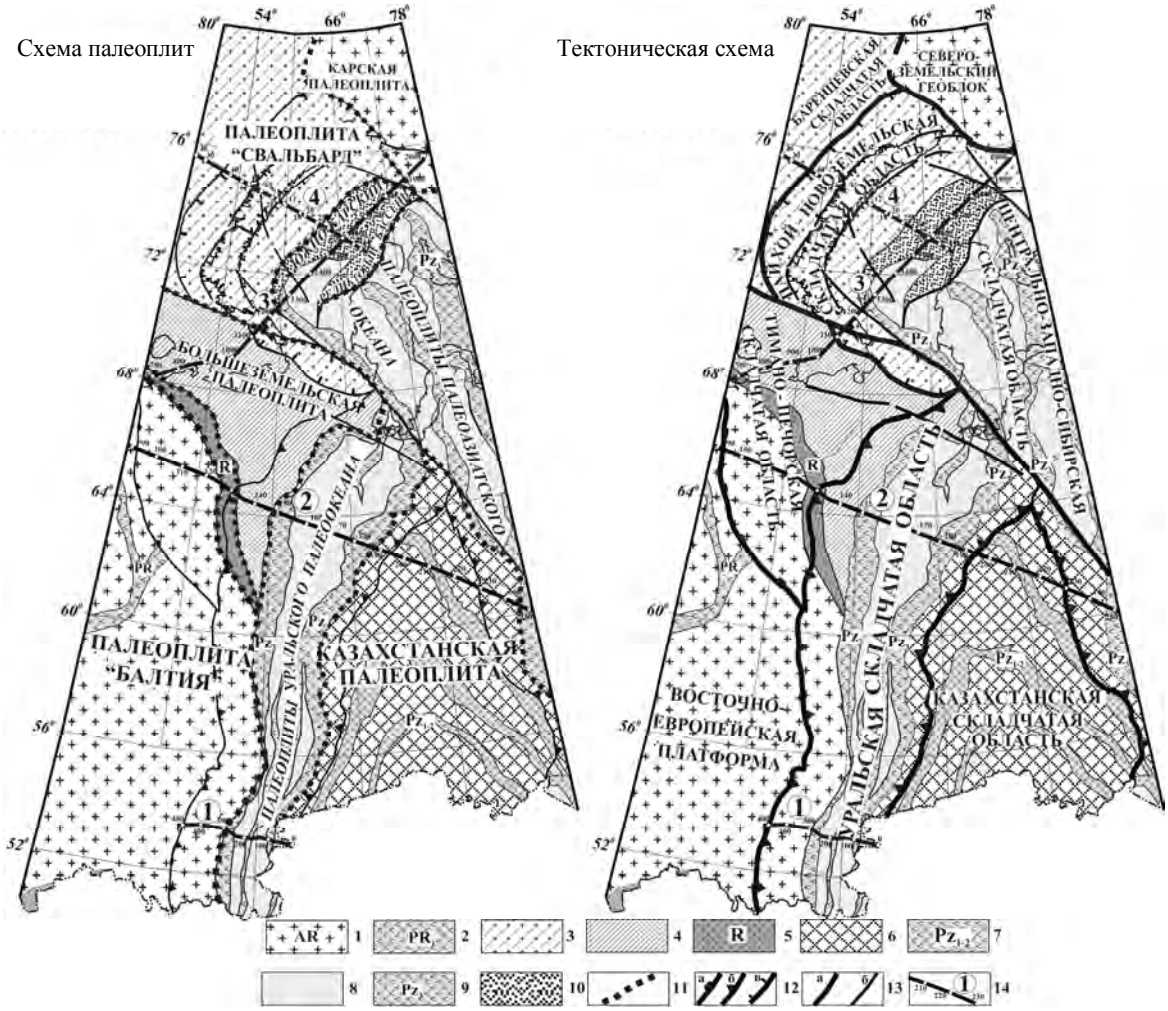


Рис.1. Схемы глубинного строения региона Уральской, Пайхой-Новоземельской складчатых областей и геоструктур их обрамления

1-9 – блоки (палеоплиты) и межблоковые (сутурные) зоны разновозрастных складчатых областей: 1-2 – архейско-раннепротерозойской палеоплиты «Балтия» (1 – блоки, 2 – межблоковые зоны); 3-5 – протерозойских Свальбардской (3), Большеземельской (4) палеоплит и Верхне-Печорской шовной зоны (5); 6-7 – ранне-среднепалеозойской Казахстанской палеолиты (6 – блоки, 7 – межблоковые зоны); 8-9 – позднепалеозойской Уральской складчатой области (8 – блоки, 9 – межблоковые зоны); 10 – Южно-Карский остаточный океанический бассейн; 11 – границы палеоплит; 12 – тектонические границы рифейских (а), палеозойских (б), раннемезозойских (в) складчатых областей; 13 – разрывные нарушения (а – главные, б – второстепенные); 14 – опорные геофизические профили (1 – «Уралсейс», 2 – «Мурманск – Кызыл» (фрагмент), 3 – АР-3 (фрагмент), 4 – АР-2 (фрагмент))

Влияние складчато-надвиговых дислокаций УСО на радиальную расслоенность земной коры смежных геоструктур начинает проявляться в пределах Предуральского краевого прогиба, где фиксируются высокоамплитудные смещения пачек отражающих горизонтов верхней коры вдоль надвигов западной вергентности с воздыманием кристаллического основания платформы с амплитудой до 3 км.

В пределах Западно-Уральской зоны проявляется пластинчато-надвиговый стиль деформаций верхней коры, заложенной на древней пассивной окраине палеоплиты «Балтия». Амплитуды надвигов могут достигать здесь 5-7 км, что приводит к выведению на современный денудационный срез рифейских толщ и образований архейско-раннепротерозойского кристаллического фундамента.

Тектонической границей деформированной окраины палеоплиты «Балтия» и Западно-Магнитогорской сутурной зоны является Главный Уральский разлом. В сечении

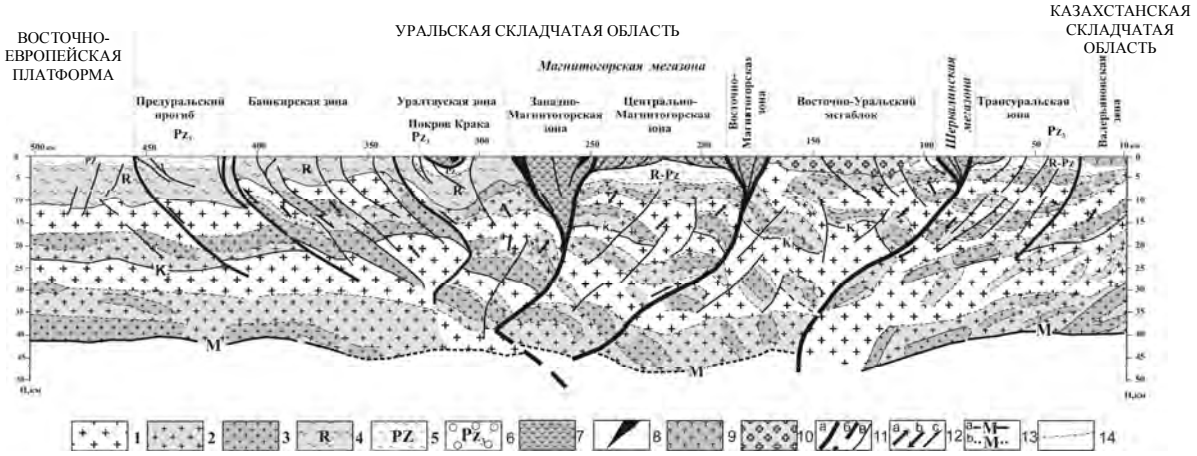


Рис.2. Геолого-геофизический разрез земной коры по линии геотраверса «Уралсейс» (составлен А.С.Егоровым в соавторстве с В.Н.Мухиным с использованием данных ФГУ НПП «Спецгеофизика»)

1-10 – структурно-вещественные подразделения земной коры: 1-3 – образования кристаллической коры, дифференцированные по сейсмической рефлективности (1 – сейсмически прозрачные, 2 – со средней отражательной способностью, 3 – высоко рефлективные); 4-10 – образования верхней коры (4-5 – осадки пассивных континентальных окраин и чехлов микроплит рифейского (4) и палеозойского (5) возрастов); 6 – обломочная моласса краевых бассейнов; 7 – вулканогенные и осадочные образования древних энсиматических островных дуг; 8 – офиолиты; 9 – вулканогенные и осадочные образования древних активных окраин; 10 – гранитоидные плутоны; 11 – разрывные нарушения: глубинные – блоков (палеоплит), межблоковых сутурных зон и главных структурных зон складчато-надвиговых поясов в разрезе земной коры (а) и верхней мантии (б); второстепенные разломы верхней-средней коры (в); 12 – тренды относительных воздыманий (а) и опусканий (б) сегментов кристаллической коры в ходе позднепалеозойского орогенеза и направления надвигов вдоль главных разрывных дислокаций (в); 13 – нижние кромки высоко рефлективных слоев земной коры, отвечающие подошве верхней коры (K_1) и границе Мохоровичича (М); 14 – границы ареалов средней и высокой сейсмической рефлективности

сутурной зоны моделируется система тектонических пластин, сложенных раннепалеозойскими офиолитовыми комплексами, девонско-раннекарбоновыми островодужными вулканитами андезит-базальтового состава и осадочными породами. По геофизическим данным моделируется клиновидная морфология Западно-Магнитогорской зоны и ее узкий глубинный канал.

Особенности сейсмического поля в сечении Центрально-Магнитогорской зоны позволили прийти к заключению о континентальном типе ее разреза.

Разрез верхней коры Восточно-Магнитогорской зоны включает островодужные образования и тела гипербазитов. Узкий глубинный канал этой сутурной зоны прослеживается по сейсмическим данным до подошвы коры.

«Нормальная» структура сейсмической расслоенности кристаллической коры Восточно-Уральского мегаблока свидетельствует о наличии здесь древнего континентального основания.

Шерклинская (Восточно-Уральская) сутурная мегазона маркирует внешнюю границу Казахстанского палеоконтинента. В ее разрезе развит широкий набор осадочно-вулканогенных толщ островодужного генезиса.

В геологическом разрезе Зауральского мегаблока, представляющего собой деформированную в позднем палеозое окраину Казахстанского палеоконтинента, выделяются сложнодислоцированные метаморфические комплексы, возраст которых варьирует от рифея до раннего палеозоя.

Глубинный разрез севера Уральской складчатой области в сечении профиля ГСЗ «Мурманск – Кызыл». Западный фланг складчатой области в данном сечении представляет собой интенсивно деформированную окраину Большеземельской палеоплиты. Предуральский краевой прогиб, выполненный пермской молассой, подстилается терригенно-карбонатными ордовикско-каменноугольными флишоидными отложениями; гипсометрически ниже залегают рифейско-вендские осадочно-



Рис.3. Геолого-геофизический разрез земной коры по линии геотраверса «Мурманск – Кызыл» (составлен с использованием данных Центра «ГЕОН»)

1-13 – структурно-вещественные подразделения земной коры: 1-3 – слои кристаллической коры, выделенные по значениям скорости продольных волн – *Vp* (1 – нижняя кора (*Vp* = 6,8÷7,2 км/с), в том числе (б) слой «коромантийной смеси» с переходными значениями скорости продольных волн, 2 – средняя кора (*Vp* = 6,5÷6,8 км/с), 3 – верхняя кора – «гранитно-метаморфический слой» (*Vp* = 6,0÷6,4 км/с)); 4 – океаническая кора Южно-Карской впадины, дифференцированная по данным сейсмотомографического моделирования (изолинии – скорости продольных волн в километрах в секунду); 5-13 – образования верхней коры (5-6 – осадки древних пассивных континентальных окраин и чехлов микроплит рифейского (5) и палеозойского (6) возрастов, 7 – обломочная моласса краевых бассейнов, 8 – осадки внутриплитных бассейнов, 9 – рифтогенные комплексы, 10-11 – вулканогенные и осадочные образования древних активных континентальных окраин (10) и энсиматических островных дуг (11), 12 – гранитоидные плутоны, 13 – глубинные разрывные нарушения в разрезе верхней-средней коры (а) и на глубинных уровнях земной коры и верхней мантии (б); 14 – прочие разрывные нарушения; 15 – главные границы радиальной расслоенности земной коры (F_0 – подошва вулканогенно-осадочного слаболитифицированного слоя, K_1 – подошва верхней коры, M – подошва земной коры (граница Мохоровичича), M_1 – подошва переходного слоя «коромантийной смеси»; 16 – прочие границы радиальной расслоенности земной коры, выделенные уверенно (а) и менее уверенно (б)

вулканогенные образования островодужного генезиса Верхне-Печорской мегазоны (рис.3).

Верхнее-Печорская мегазона на разрезе ГСЗ выделяется повышенными значениям скорости продольных волн (*Vp* = = 6,60÷6,65 км/с). Картирование этих комплексов на дневной поверхности в смежной Западно-Уральской зоне связывается с обдуцированием образований Верхне-Печорской энсиматической островной дуги на окраины палеоплит в ходе байкальского тектогенеза. Складчато-надвиговая структура верхней части разреза земной коры и Западно- и Центрально-Уральской зон установлена сейсмическими исследованиями и подтверждена большим количеством буровых работ. В пределах Центрально-Уральской зоны на дневную поверхность выведены рифейские метатерригенные комплексы древней пассивной континентальной окраины.

Тагило-Магнитогорская сутурная зона в интервале глубин 12-14 км моделируется как бивергентная структура, выполненная осадочно-вулканогенными комплексами островодужного генезиса и образованиями океанической коры. Клиновидная морфология мегазоны обосновывается, главным образом, результатами интерпретации потенциальных геофизических полей. Пологое погружение в восточном направлении ее западной тектонической границы (Главного Уральского разлома) установлено данными бурения и сейсморазведки МОВ. В сечении профиля ГСЗ «Мурманск – Кызыл» инверсия направления погружения поверхности разлома с восточного на западное проявляется в смене структуры сейсмической расслоенности в смежных блоках.

Восточно-Уральский мегаблок с корой континентального типа прослеживается геофизическими методами под платформенным чехлом Западно-Сибирской геосинеклизы. Развитие в пределах его образования кристаллического фундамента и рифейско-палеозойских осадков установлено буровыми работами.

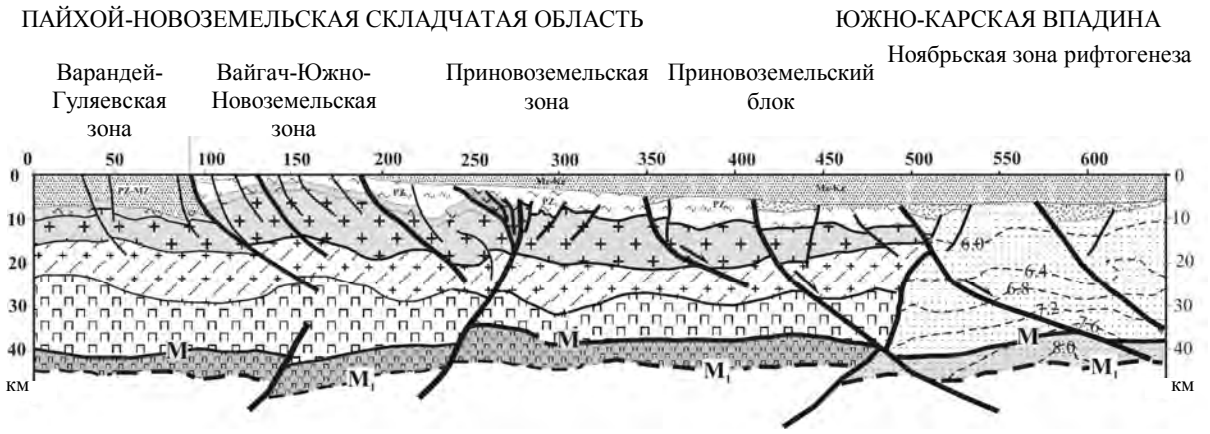


Рис.4. Геолого-геофизический разрез земной коры по линии геотраверса АР-3
(составлен с использованием данных ФГУ НПП «Севморгео»)
Условные обозначения см. на рис.3

Шеркалинская мегазона является пограничной структурой Уральской складчатой области с Ханты-Мансийским и Надымским континентальными мегаблоками Казахстанской складчатой области. В разрезе верхней коры моделируется бивергентная морфология тектонических пластин, выполненных палеозойскими островодужными и океаническими образованиями. На разрезах ГСЗ мегазона трассируется по резкому изменению в латеральном измерении мощности слоев и их скоростных характеристик.

Далее в восточном направлении моделируется деформированная окраина Казахстанского палеоконтинента, относимая к восточному флангу УСО.

Пайхой-Новоземельская складчатая область. При изучении глубинного строения акваторий российской Арктики применялась комбинация методов сейсморазведки МОВ-ОГТ и корреляционный метод преломленных волн (КМПВ)-ГСЗ. Сейсморазведка МОВ-ОГТ позволила изучить особенности строения осадочного чехла; строение более глубинных горизонтов земной коры исследовалось по данным КМПВ-ГСЗ. В результате были получены данные о таких особенностях глубинного строения изучаемых регионов, как: морфология впадин с мощным осадочным чехлом (до 20 км на Баренцевском шельфе); строение рифтогенных прогибов, особенности проявления разрывных дислокаций разных морфокинематических типов, параметры морфологии блоков и межблоковых зон разновозрастной консолидированной коры.

Глубинный разрез Пайхой-Новоземельской складчатой области в сечении профиля АР-3. Южная часть Вайгач-Южно-Новоземельской зоны отчетливо проявляется как складчато-надвиговый пояс, сформированный на окраине Большеземельского мегаблока (палеоплиты). Заложение этой коллизионной структуры связывается нами с позднепалеозойским-раннемезозойским закрытием океанического бассейна, место которого маркируется Приновоземельской сутурной зоной (рис.4).

Обращает на себя внимание высокая интенсивность деформации Большеземельской палеоплиты при относительно невысокой деформации Приновоземельского континентального блока. В пределах последнего, судя по особенностям геофизических разрезов, активное проявление имели лишь деформации растяжения, которые мы связываем с процессами раннемезозойского рифтогенеза. В восточной части рассматриваемого фрагмента геотраверса располагается мезозойско-кайнозойская Южно-Карская впадина. Анализ сейсмических данных позволяет предполагать в фундаменте впадины кору океанического типа. Для отображения параметров глубинного строения этой структуры нами использованы данные сейсмической томографии. Согласно этим материалам для этого остаточного океанического бассейна характерен относительно невысокий уровень деформации коры.

Глубинный разрез Пайхой-Новоземельской складчатой области в сечении

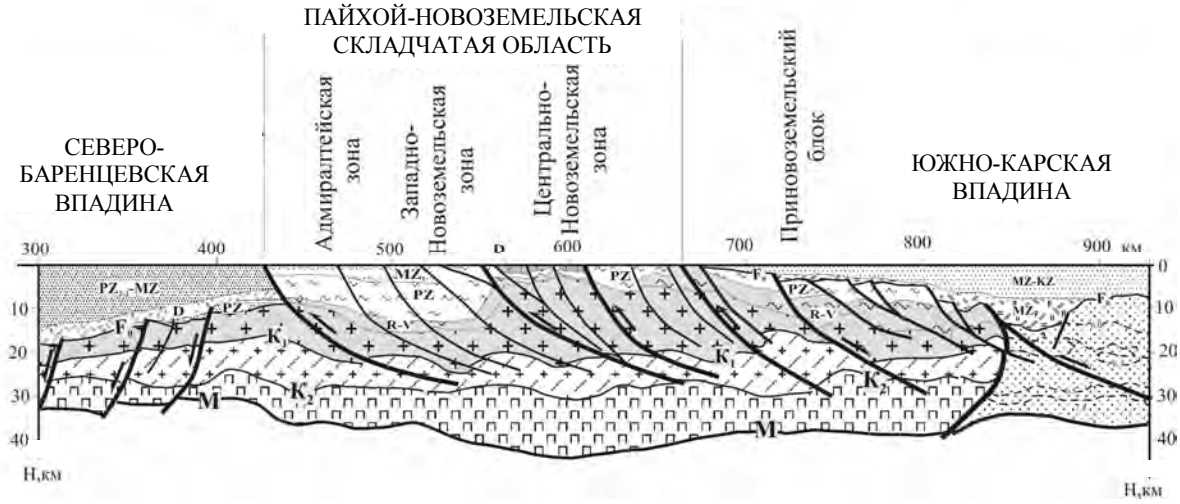


Рис.5. Глубинный разрез земной коры Пайхой-Новоземельской складчатой области и смежных структур вдоль восточного фрагмента опорного геофизического профиля АР-3
Условные обозначения см. на рис.3

профиля АР-2. Разрезы осадочных образований западного фланга Пайхой-Новоземельской складчатой области и восточного фланга Северо-Баренцевской впадины имеют сходные последовательности и мощности слоев, что свидетельствует об их длительном развитии в однотипных геодинамических обстановках. Различия в их строении обусловлены проявлением раннемезозойских аккреционных процессов на финальном этапе закрытия Палеоазиатского океана, которые привели к интенсивным деформациям и выведению на дневную поверхность восточного (в современных координатах) фланга депрессии, включаемого ныне в состав Пайхой-Новоземельской складчатой области. Как и в сечении профиля АР-3, в разрезе Приновоземельского блока складчато-надвиговые деформации не выделяются. Здесь моделируется проявление лишь рифтогенных процессов (рис.5).

Базовой информацией при изучении складчато-надвиговых дислокаций Пайхой-Новоземельской складчатой области являлись детальные данные сейсморазведки МОВ, геологическая переинтерпретация которых в сочетании с данными сейсмотомографии и обработки потенциальных полей позволила не только обосновать общую структуру надвиговых деформаций, но и оценить амплитуды смещений вдоль главных плоскостей разрыва. Обращает на себя внимание тот факт, что в пределах складчатой области интенсивность деформаций убывает от Адмиралтейской и Центрально-Новоземельской зон к Южно-Карскому бассейну.

В пределах акватории Карского бассейна под мезозойско-кайнозойскими осадками Южно-Карской впадины нами выделяется Карский остаточный бассейн с корой океанического типа, при моделировании неоднородностей которой нами были использованы параметры сейсмотомографического разреза.

Выводы

1. В результате моделирования земной коры Южного и Северного Урала устанавливаются следующие общие особенности строения УСО:

• Выявленная зональность характерна для классических коллизионных орогенов, включающих в общем случае деформированную окраину погружавшейся плиты «Балтия», сутурную зону, маркирующую область закрытия океанического бассейна и деформированную окраину перекрывающей плиты «Казахстан».

• Уральский коллизионный ороген, помимо трех этих главных элементов, включает серию микроплит с корой континентального типа (например, Восточно-Уральскую) и дополнительных сутурных зон.

• Главными структурами западного фланга УСО являются Предуральский краевой прогиб, Западно- и Центрально-Уральская складчато-надвиговые зоны. В пределах последней развивается система складчатых, шарьяжно-надвиговых и сдвиговых деформаций, интенсивность которых усиливается в сторону сутурной зоны. Глубинные деформации по косвенным геофизическим свидетельствам выклиниваются в пределах верхней-средней коры.

• Восточный фланг УСО представляет собой интенсивно деформированную окраину Казахстанской палеоплиты. Вергентность надвигов направлена преимущественно в сторону внешней границы области.

• Сутурные зоны (Тагило-Магнитогорская, Шеркалинская), выполненные комплексами островных дуг и океанической коры, в современном разрезе занимают остаточное пространство между жесткими массивами палеоплит и частично обдуцированы на их окраины. В разрезе верхней коры они имеют конусообразную морфологию; ниже, по косвенным геофизическим признакам, моделируется резкое сужение глубинного канала.

• Для разреза УСО характерна увеличенная до 56 км мощность земной коры с асимметрией ее «корней» – с пологим западным и крутым восточным бортами.

2. Моделирование земной коры Пайхой-Новоземельской складчатой области позволило установить следующие общие особенности ее строения:

• Зональность ПНСО не характерна для классических коллизионных орогенов. В ее сечении моделируется складчато-надвиговый пояс, заложенный на окраине палеоплиты «Свальбард» и включающий Вайгач-Новоземельскую, Адмиралтейскую, Западно- и Центрально-Новоземельскую и другие зоны.

• Интенсивность складчато-надвиговых деформаций резко уменьшается в восточном направлении; в фундаменте Южно-Карского бассейна моделируется лишь слабо деформированная кора океанического типа.

• Разрез ПНСО характеризуется умеренно увеличенной (до 45 км) мощностью земной коры.

• В сечении профиля АР-2 по результатам сопоставления данных КМПВ и глубинного МОВ-ОГТ моделируются две контрастные границы, отвечающие подошве земной коры.