

## Структура земной коры и верхней мантии по сейсмологическому профилю Мезень–Тиман–Печора (MEZTIMPECH)

В. В. Удоратин

Институт геологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, г. Сыктывкар, ул. Первомайская, 54, e-mail: udoratin@geo.komisc.ru

Поступила в редакцию 21.01.2019 г., принята к печати 11.12.2019 г.

*Объект исследования.* Рассмотрено глубинное строение земной коры и верхней мантии по сейсмическому профилю Мезень–Тиман–Печора (MEZTIMPECH), пересекающему южные части Мезенской синеклизы, Тиманской гряды и Печорской синеклизы, имеющему широтное направление и общую протяженность 525 км. *Материалы и методы.* Использовались собственные данные, полученные в результате выполнения сейсмических исследований методом обменных волн землетрясений. При обработке привлекались данные сейсмических работ методами глубинного сейсмического зондирования, отраженных волн, общей глубинной точки, корреляционным методом преломленных волн, а также материалы геофизических исследований скважин. При интерпретации результатов использовались обобщающие модели глубинного строения территории. *Результаты исследований.* В результате интерпретации записей метода обменных волн землетрясений и последующего математического моделирования построен геолого-геофизический разрез до глубины порядка 100 км и выделен ряд сейсмических границ. Опорными границами обмена являются:  $\Phi_0$  – поверхность рифейского складчатого фундамента,  $\Phi$  – поверхность дорифейского кристаллического фундамента, М – поверхность Моховичича, отождествляемая с кровлей верхней мантии. Дополнительно прослежены горизонты:  $K_1$ – $K_4$  – в земной коре,  $M_1$ ,  $M_2$  – в верхней мантии. На сейсмическом разрезе выделены четыре региональных геоблока, различающиеся по глубине залегания поверхности фундамента, раздела Мохо и глубинным особенностям строения консолидированной коры: Кировско-Кажимский авлакоген, Вычегодский прогиб, Тиманский кряж и Предуральский прогиб. *Выводы.* Результаты глубинных сейсмических исследований отражают региональные особенности строения земной коры и являются основой для построения тектонических моделей крупных геологических объектов.

**Ключевые слова:** сейсмический метод, глубинное строение, земная кора, верхняя мантия, преломляющие горизонты, опорные границы

## Structure of the Earth crust and upper mantle along seismological profile Mezen–Timan–Pechora (MEZTIMPECH)

Valeriy V. Udoratin

N.P. Yushkin Institute of Geology Komi Scientific Center, Ural Branch of the RAS, 54 Pervomaiskaya st., Syktvykar 167982, Russia, e-mail: udoratin@geo.komisc.ru

Received 21.01.2019, accepted 11.12.2019

*Object of study.* The article was devoted to investigation of the depth structure of the Earth's crust and upper mantle along the Mezen–Timan–Pechora seismic profile (MEZTIMPECH), crossing the southern parts of the Mezen syncline, the Timan ridge and the Pechora syncline. Total profile length was 525 km. *Materials and methods.* In the course of writing the article, the data obtained by performing seismic surveys using the earthquake exchange wave method were used. The processing involved seismic data using the methods of deep seismic sounding, reflected waves, a common depth point, a correlated method of refracted waves, and materials from well geophysical surveys. In interpreting the research results, generalizing models of the deep structure of the territory were employed. *Research results.* As a result of the interpretation of the records of the method of exchange waves of earthquakes and the subsequent mathematical modeling, a geological and geophysical section was constructed to a depth of about 100 km and a number of seismic boundaries were identified. The pivotal boundaries of the exchange were:  $\Phi_0$  – the surface of the Riphean folded basement,  $\Phi$  – the surface of the pre-Riphean crystalline basement, М – the surface of Mohorovich, identified with the roof of the upper mantle. Additionally, horizons  $K_1$ – $K_4$  – in the crust of the Earth,  $M_1$ ,  $M_2$  – in the upper mantle were traced. Four regional geoblocks were distinguished in the seismic section, differing in depth of the basement surface, the Moho section and the underlying structural features of the consolidated crust: the Kirov-Kazhim aulacogen, the Vychehga depression, the Timan ridge and

**Для цитирования:** Удоратин В.В. (2020) Структура земной коры и верхней мантии по сейсмологическому профилю Мезень–Тиман–Печора (MEZTIMPECH). *Литосфера*, 20(4), 517–527. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-4-517-527

**For citation:** Udoratin V.V. (2020) Structure of the Earth crust and upper mantle along seismological profile Mezen–Timan–Pechora (MEZTIMPECH). *Litosfera*, 20(4), 517–527. DOI: 10.24930/1681-9004-2020-20-4-517-527

the Pre-Ural downfold. *Conclusions.* The results of deep seismic studies reflected regional features of the structure of the Earth's crust and were the basis for the construction of tectonic models of large geological objects.

**Keywords:** seismic method, deep structure, earth crust, upper mantle, refracting horizons, support boundaries

#### Acknowledgements

The author is grateful to V.A. Lyutov, N.N. Noskova, S.S. Klimenko, A.A. Syrtsev, A.S. Mikushev, A.N. Klimushev, D.A. Suvorov members of the Institute of Geology, Komi Scientific Center, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, who participated in the fieldwork. The author expresses gratitude to Academician [N.P. Yushkin], N.A. Malyshev, [B.A. Pimenov], [V.G. Olovyanishnikov], A.M. Pystin for support and advice in conducting research, to the staff of the Institute of Geophysics UB RAS V.S. Druzhinin and G.I. Parygin for their participation and advice on the processing of specialized seismological observations. The author is grateful to S.L. Kostyuchenko, [E.E. Zolotov], [A.V. Egorkin], V.A. Rakitov, and V.V. Nedyadko, employees of the GEON Center, for advice on the processing and interpretation of the material received

## ВВЕДЕНИЕ

Исследуемая территория, представленная в тектоническом плане сложным узлом пересечения различных разновозрастных структур Восточно-Европейской платформы (Волго-Уральская антеклиза, Мезенская синеклиза, Тиман, Печорская синеклиза, Северный Урал), обладает значительным минерально-сырьевым потенциалом и имеет крайне низкую степень геолого-геофизической изученности. В связи с этим ставятся задачи комплексного исследования строения территории от поверхности до верхней мантии включительно.

Институтом геологии Коми НЦ УрО РАН при технической поддержке Института геофизики УрО РАН и Центра ГЕОН им. В.В. Федынского в 1997–2002 гг. был выполнен сейсмологический профиль методом обменных волн землетрясений (МОВЗ) МЕЗТИМРЕСН (пересекающий южные части Мезенской синеклизы (МЕЗ – 1997–1998 гг.), Тиманской гряды (ТИМ – 1999–2000 гг.), Печорской синеклизы (РЕСН – 2001–2002 гг.)), имеющий широтное направление и общую протяженность 525 км (рис. 1). Профиль МЕЗТИМРЕСН находится в створе профилей глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) “Глобус”, “Рубин”, “Рифей-Х”, выполненных Центром ГЕОН, и профиля МОВЗ “Княжпогост–Ухта”, отработанного ВСЕГЕИ. Сейсмическими работами – методом преломленных волн (КМПВ), методом отраженных волн (МОВ) и методом общей глубинной точки (МОГТ) территория изучена незначительно лишь в пределах Вычегодского прогиба и небольшой части Южного Тимана. Геофизические исследования, проведенные методом ОГТ в 1987–1993 гг., позволили уточнить строение Вычегодского прогиба и Тимана. Границей Русской и Печорской плит принято считать Западно-Тиманский глубинный разлом. На региональных профилях РС-22, РС-27 отчетливо видно сочленение прогиба и Тимана, которое происходит по надвику. Вертикальная составляющая перемещения по разлому палеозойских отложений не превышает первых сотен метров, по отложениям верхнего докембрия – не менее 1500 м. По зо-

не разлома происходит смена типов разрезов верхнего докембрия. Если к западу от разлома в отложениях верхнего докембрия прослеживаются границы толщ различного литологического состава, то к востоку от него в надвинутом верхнедокембрийском комплексе пород таких границ не наблюдается, что обусловлено более интенсивной складчатостью и метаморфизмом пород. На сейсмических профилях хорошо выделяется сложная зона Центрально-Тиманского глубинного разлома. Результаты региональных сейсмических работ подтвердили геологические материалы о складчато-надвиговом строении Тимана. Установлено, что Западно-Тиманский разлом не играет роли краевого шва на контакте плит. В позднедокембрийском структурном плане в качестве границы может быть принята складчато-надвиговая зона, ограниченная Западно-Тиманским и Центрально-Тиманским разломами (Оловянишников и др., 1996). Тиманская гряда обычно включается в состав Печорской плиты в качестве ее юго-западного структурного ограничения. Основным различием Русской и Печорской плит считается возраст фундамента.

Целью сейсмических работ по линии профиля МОВЗ было получение новых данных о глубинном строении, местоположении и поведении основных границ раздела и слоев земной коры, взаимоотношении тектонических структур региона.

Методика наблюдений заключалась в регистрации землетрясений с последующим выделением обменных волн. Шаг установки станций составлял от 3 до 10 км, детальность зависела от сложности строения тектонических структур. Так, Вычегодский и Предуральский прогиб пройден с шагом 8–10 км, Тиман – 3–5 км.

Обработка и интерпретация выполнены сотрудниками Института геологии Коми НЦ УрО РАН. На более позднем этапе проведены компьютерная обработка и интерпретация материалов сотрудниками Центра ГЕОН, после чего материалы сопоставлялись. Построения не имели коренных различий, расхождения составляли не более 10%.

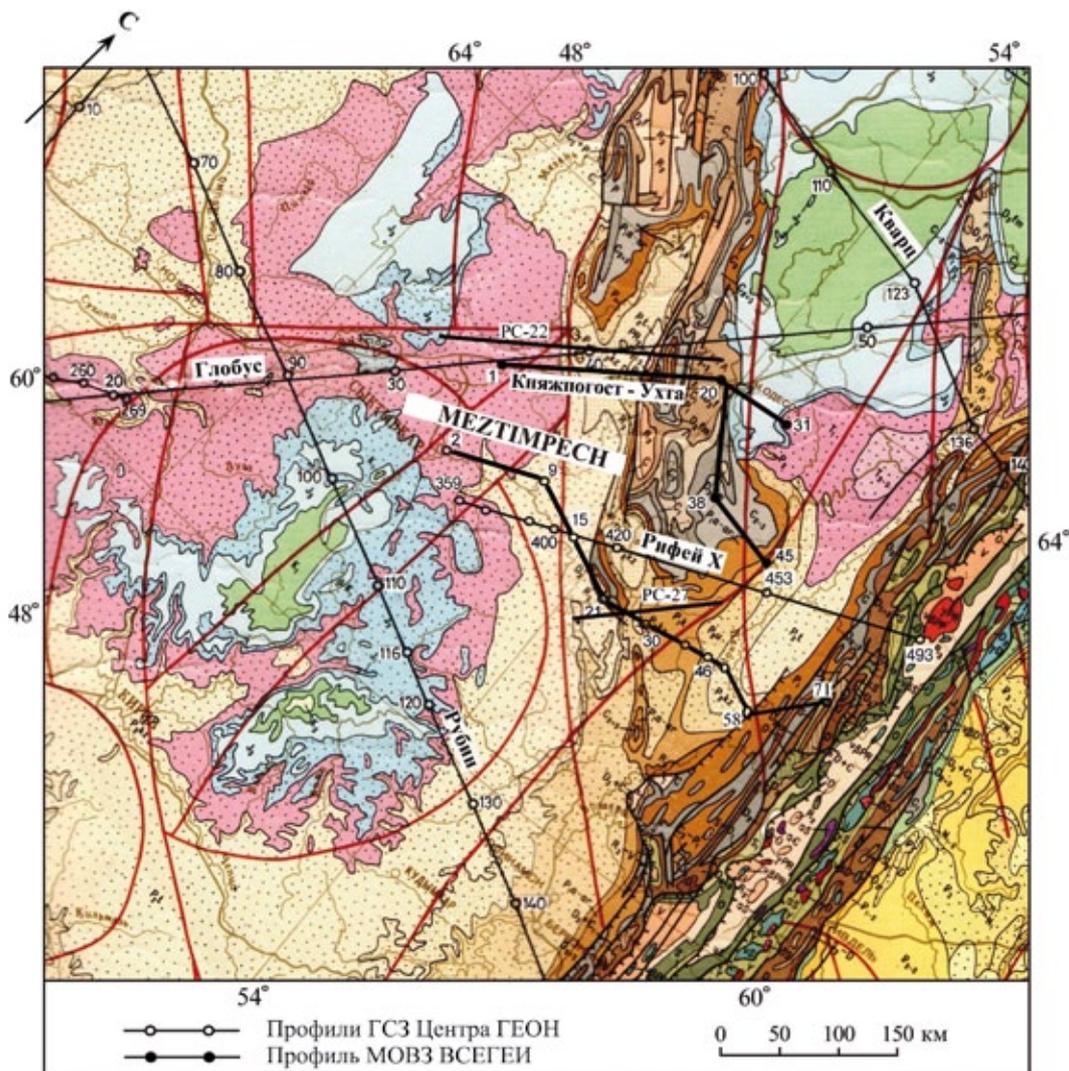


Рис. 1. Схема района исследований.

Fig. 1. Scheme of the study area.

По мере выполнения отдельных этапов в открытой печати публиковались материалы исследований (Удоратин, 1998, 1999, 2002, 2003, 2004, 2011; Удоратин и др., 1998; Удоратин, Конанова, 2000; Югова, Удоратин, 2000; Костюченко и др., 2002; Удоратин, Попов, 2007).

Целью данной работы является обобщение результатов исследования по всему профилю.

#### ВРЕМЕННОЙ РАЗРЕЗ

После выделения обменных волн строится временной разрез по разности времен регистрации одноименных фаз волн P и PS. Трудность корреляции обменных волн, зарегистрированных различными станциями, заставляет прибегнуть к процессу простого статистического накопления обмен-

ных волн от определенных площадок обмена для различных землетрясений в одной точке наблюдения. Большое число повторений обменных волн от одной площадки позволяет свести к минимуму возможные ошибки при выделении самой обменной волны. Волны PS выделялись на той горизонтальной компоненте, где амплитуда волны была наибольшей. Иногда волны PS от одной и той же границы удавалось выделить на двух горизонтальных составляющих. Материалы наблюдений обменных волн по каждому пункту установки станции обрабатывались независимо. При этом основным критерием для отнесения времен запаздываний  $\Delta t_{ps-p}$  к одной и той же границе обмена являлись повторяемость формы записи волн PS и сравнительно небольшой разброс значений  $\Delta t_{ps-p}$ , т. е. близкие значения времен вступления.

Разброс времен для одной площадки обмена достигает 0.10–0.25 с. Он может быть обусловлен наличием структурных форм границ обмена, в результате чего отрыв волн S и P происходит на разной глубине, но в основном такая разница времен связана с различным углом выхода сейсмического луча от землетрясений с разными эпицентрными расстояниями.

Корреляция обменных волн осуществляется в соответствии с критериями фазовой корреляции, принятыми в сейсморазведке, по монтажу трасс SV компоненты. Прослеживаются динамические особенности волн PS вдоль профиля, учитывается характер изменения формы от пункта к пункту, отмечаются места прекращения синфазной корреляции той или иной волны. В результате корреляции выделяется волна, связываемая с определенной границей раздела, а по максимуму амплитуд волн определяется время запаздывания. Аналогично в МОГТ считается, что временной разрез отображает поведение границ вдоль линии профиля.

На временном разрезе (рис. 2) выделяются серии синфазно коррелирующих волн, опорными из которых являются волны  $PS_{\phi}$ , связываемые с поверхностью дорифейского фундамента,  $PS_{\phi 0}$  – с поверхностью рифейского складчатого фундамента,  $PS_M$  – с поверхностью Мохоровичича. Дополнительно прослежены волны:  $PS_{oc}$ , связываемые с границами в осадочной толще,  $PS_{к1-3}$  – с границами в толще кристаллической коры,  $PS_{M1-M2}$  – с границами в верхней мантии. С запада на восток по характеру волнового поля хорошо проявляются основные тектонические структуры: Кировско-Кажимский авлакоген, Вычегодский прогиб, Тиманский кряж (выделяются западный, центральный и восточный блоки) и Предуральский прогиб.

*Кировско-Кажимский авлакоген* (ПН 2–5). Первой на временном разрезе на временах 0.50–0.65 с прослеживается волна  $PS_{oc}$ . Далее на временах 2.70–2.75 с выделяются волны  $PS_{к2}$ , а на временах 4.75–4.80, 6.30–6.35 с – волны  $PS_M$  и  $PS_{M2}$  соответственно.

*Вычегодский прогиб* (ПН 6–21). В пределах этого блока первой на временном разрезе продолжает следовать волна  $PS_{oc}$  с временами 0.65–1.00 с. Далее на временах запаздывания 1.25–2.00 с выделяется волна  $PS_{\phi}$ , связываемая с поверхностью дорифейского фундамента. Коровые обменные волны  $PS_{к1-3}$  следятся на временах запаздывания 2.05–2.50, 2.80–3.35, 3.75–4.50 с. Волны, связываемые с поверхностью Мохо и границами в верхней мантии, выделяются на временах запаздывания 4.9–5.1, 5.5–6.2 и 6.65–7.50 с соответственно.

*Тиманский кряж* (ПН 22–46). Характер волновой картины в пределах этого блока существенно иной. Первой на временном разрезе на временах запаздывания 0.25–0.60 с выделяется волна  $PS_{\phi 0}$ ,

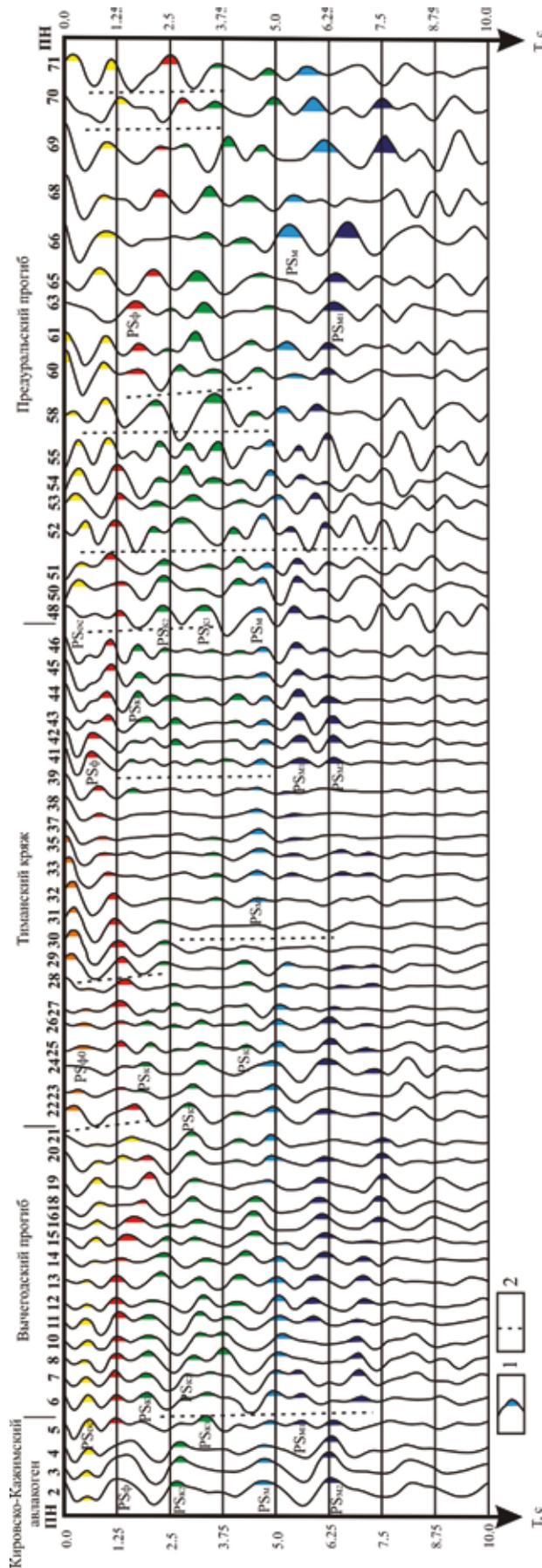
связываемая с поверхностью рифейского складчатого фундамента. На временах запаздывания 0.75–1.40 с выделяется волна  $PS_{\phi}$ , связываемая с поверхностью дорифейского фундамента. Внутрикоровые волны, по сравнению с таковыми предыдущего блока, прослеживаются нерегулярно, явно можно выделить сегменты с различным характером записи: западный – регулярно по всему участку с низкими амплитудами; центральный – практически не прослеживаются преломления (редкие и очень слабые амплитуды); восточный – уверенно выделяются с хорошими амплитудами. Волны  $PS_{к1-3}$  следятся на временах запаздывания 1.70–2.35, 2.45–3.25, 3.6–4.3 с. Волна  $PS_M$  выделяется на временах запаздывания 4.65–5.25 с, а волны  $PS_{M1-2}$  – на временах запаздывания 5.5–6.25 и 6.25–7.35 с соответственно.

*Предуральский прогиб* (ПН 47–71). Волновое поле выглядит еще более сложно, чем в предыдущих блоках. Уверенно прослеживаются волны от опорных границ  $PS_{\phi}$  и  $PS_M$  с временами 1.25–2.25 и 4.8–6.1 с, в осадочном чехле появляется еще одна волна, в консолидированной коре наблюдается мозаичная картина, где можно выделить несколько блоков. В верхней мантии отмечается  $PS_{M1}$  с временами 6.25–7.50 с.

#### СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕОЛОГИЧЕСКОГО РАЗРЕЗА

Основным недостатком метода обменных волн от землетрясений является несостоятельность в решении вопроса определения скоростей распространения сейсмических волн. В связи с этим данные о средних скоростях пробега продольных и поперечных сейсмических волн приходится получать с помощью других методов.

Анализ скоростной характеристики платформенного чехла по площади региона выполнялся прежде всего по данным сейсмического каротажа скважин, а также с помощью профильных сейсмических исследований различной модификации. Было выполнено бурение ряда поисковых, поисково-разведочных и параметрических скважин. Нами рассмотрены материалы сейсмического каротажа, сделанного по скважинам Лопыдино-1, Сторожевск-1, Нившера-184, а также скоростные характеристики разреза, полученные в результате работ методом общей глубинной точки. Для выбора модели скоростных параметров кристаллической части земной коры и верхней мантии были рассмотрены материалы, полученные по профилям глубинного сейсмического зондирования. Вблизи профиля наблюдения отработаны региональные профили Кинешма–Воркута (ГСЗ-70) и Костомукша–Нижний Тагил (ГСЗ-90), последний из которых проходит по югу исследуемых структур, и потому на него сделан основной упор. Средние данные по скоростям



**Рис. 2.** Временной разрез по профилю MEZTIMPECH.

1 – временная фаза обменных волн, образованных:  $PS_{0p}$  – на поверхности складчатого фундамента,  $PS_{0}$  – на поверхности дорифейского фундамента,  $PS_{kl-4}$  – в кристаллической коре,  $PS_M$  – на поверхности Мохо;  $PS_{M1-M2}$  в верхней мантии; 2 – граница зон со сходной волновой картиной; ПН – пункт наблюдения; Т, с – время задержки обмена.

**Fig. 2.** Time section of the profile MEZTIMPECH.

1 – time phase of the exchange waves formed:  $PS_{0p}$  – on the surface of the Riphean folded basement,  $PS_{0}$  – on the surface of the Pre-Rifean foundation,  $PS_{kl-4}$  – in the crystalline crust,  $PS_M$  – on the Moho surface;  $PS_{M1-M2}$  in the upper mantle; 2 – boundary of zones with a similar wave pattern; ПН – observation point; Т, с – time delay exchange.

для глубоких горизонтов земной коры рассчитаны с учетом влияния низкоскоростных пород осадочного чехла. Для расчетов также необходимо знание скоростей поперечных волн. Нами использовались величины  $k_{cp} = V_{cpP}/V_{cpS}$ , которые были получены по материалам регионального профиля ГСЗ-90. Также проанализированы значения средних скоростей продольных волн параметра  $k_{cp}$ , которые применялись при работах МОВЗ, проведенных в Тимано-Печорской провинции (Булин и др., 1976) и в других регионах. При сопоставлении скоростных параметров, рассчитанных нами и другими авторами по сопредельным регионам, видно, что значения очень близки, что подтверждает правильность выбранной нами скоростной характеристики разреза. Значения средних скоростей сейсмических волн приведены на глубинном разрезе (рис. 3).

### СТРУКТУРА ЗЕМНОЙ КОРЫ

В результате интерпретации записей МОВЗ и последующего математического моделирования построен геолого-геофизический разрез до глубины порядка 100 км и выделен ряд сейсмических границ. Опорными границами обмена являются:  $\Phi_0$  – поверхность рифейского складчатого фундамента,  $\Phi$  – поверхность дорифейского кристаллического фундамента,  $M$  – поверхность Мохоровичича, отождествляемая с кровлей верхней мантии. Дополнительно прослежены горизонты:  $K_1$ – $K_4$  – в земной коре,  $M_1$ ,  $M_2$  – в верхней мантии.

Выделенные вдоль профиля тектонические блоки разделены крупными региональными разломами. Их выделение и прослеживание на глубину осуществляются по ряду признаков, основные из которых следующие: резкое поглощение сейсмических волн в зоне разлома, скачкообразное смещение сейсмических границ.

На сейсмическом разрезе выделены четыре региональных геоблока, различающихся по глубине залегания поверхности фундамента, раздела Мохоро, а также глубинными особенностями строения консолидированной коры: Кировско-Кажимский авлакоген, Вычегодский прогиб, Тиманский кряж и Предуральский прогиб (см. рис. 3). Установлена вертикальная расслоенность консолидированной земной коры, которая интерпретируется как первичная региональная стратификация, отвечающая этапам формирования крупных структурно-вещественных геологических комплексов, выделяемых в качестве сейсмоструктурных этажей (ССЭ) (Автонеев и др., 1988; Дружинин и др., 1996). Каждый этаж, имеющий гетерогенное строение по латерали и характеризующийся определенными физическими параметрами, отражающими структурно-вещественный состав и особенности внутренней структуры, выделяется относительно выдержанными сейсмическими границами раздела.

Верхняя часть первого ССЭ в Мезенском, Волго-Уральском и Предуральском геоблоках сложена типично платформенным комплексом, представленным терригенными и карбонатными палеозойскими и мезозойскими образованиями; нижняя часть – осадочными рифейско-вендскими породами. В пределах Тиманского геоблока в строении первого ССЭ участвуют три разновозрастных комплекса пород: рифейский дислоцированных метаморфизованных пород, прорванный магматическими образованиями различного состава; палеозойских пород, несогласно залегающий на более древних породах; мезозойско-кайнозойских отложений верхнего этажа, несогласно перекрывающий палеозойские отложения (Структура..., 1982). Скоростная характеристика данного ССЭ сильно дифференцирована (от 2.0 км/с в верхних слоях до 4.5 км/с в нижних), встречаются пласты карбонатных пород с повышенными пластовыми скоростями (до 5.5 км/с). Этот ССЭ существенно отличается от остальных по степени расслоенности, характеру скоростной модели, структурно-тектоническим планам. Мощность первого сейсмоструктурного этажа увеличивается с запада на восток от 4 до 11 км.

Поверхность второго ССЭ, соответствующая границе кристаллического фундамента (горизонт  $\Phi$ ), залегает в пределах рассматриваемой площади на глубинах от 2 до 11 км. Для этого комплекса характерны скорости 6.2–6.4 км/с. Вопрос о приуроченности данного горизонта наиболее сложный и дискуссионный. Скоростные и плотностные параметры, геологическая привязка комплекса в районах вскрытия фундамента Восточно-Европейской платформы (скв. Сысола-1, Грива-1), а также анализ данных МПВ и МОВ позволяют сопоставить указанную границу с древним дорифейским кристаллическим фундаментом. Поверхность кристаллического фундамента в Мезенской синеклизе находится на глубине 3–4 км, а по мере движения на восток погружается до глубины 9 км. На юге в пределах северной части Волго-Уральского геоблока поверхность кристаллического фундамента Сысольского и Коми-Пермяцкого сводов находится на глубине 1.7–2.0 км (Структура..., 1982; Дедеев, Запорожцева, 1985). Своды отделены друг от друга Кировско-Кажимским прогибом с глубинами залегания поверхности карельского фундамента 2–4 км. Зоны сочленения прогиба со сводами представлены сложными сериями сбросовых разломов, которые в потенциальных геофизических полях отмечаются полосами горизонтальных градиентов. Необходимо отметить, что поверхность кристаллического фундамента в пределах изучаемой территории сильно эродирована и раздроблена. С запада на восток мощность второго ССЭ уменьшается от 16 до 13 км. Сейсмоструктурный этаж соответствует гранитогнейсовому структурно-вещественному комплексу (Запорожцева, Пыстин, 1994).

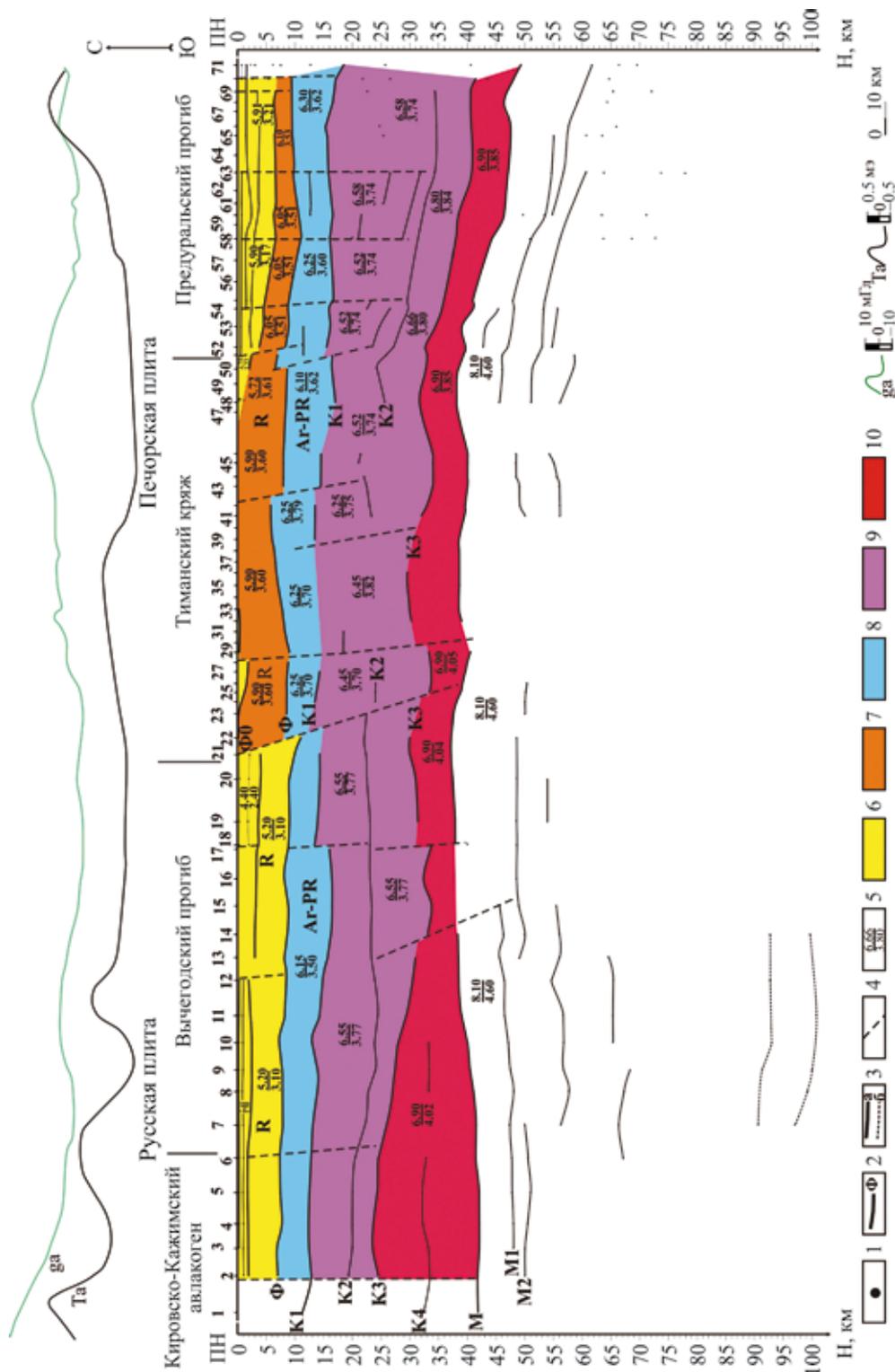


Рис. 3. Глубинный разрез по профилю МЕЗТИМРЕСН.

1 – отметки глубин; 2 – опорные поверхности; Ф – кристаллический фундамент, Ф0 – сланцевый фундамент, М – Мохоровичича, М1–М2 – в верхней мантии; 3 – границы: а – уверенные, б – предпологаемые; 4 – основные разломы; 5 – средние скорости сейсмических волн:  $V_p$  – числитель,  $V_s$  – знаменатель; 6–10 – основные структурно-вещественные комплексы: 6 – осадочный чехол, 7 – сланцы рифея, 8 – гранито-гнейсы, 9 – диорито-гнейсы, 10 – гранулиго-гнейсы (названия структурно-вещественных комплексов земной коры даны по (Запорожцева, Пыстин, 1994)).

Fig. 3. Deep section along the profile of MEZTIMRECH.

1 – depth marks; 2 – supporting surfaces; Ф – crystalline basement, Ф0 – shale base, К1–К4 – in the earth's crust, М – Mokhorovichich, М1–М2 – in the upper mantle; 3 – boundaries: а – confident, б – supposed; 4 – main faults; 5 – average seismic velocity:  $V_p$  – numerator,  $V_s$  – denominator; 6–10 – the main structural and material complexes: 6 – sedimentary cover, 7 – Riphean shale, 8 – granite-gneiss, 9 – dioritho-gneiss, 10 – gneisogranulite (the names of the structural-material complexes of the earth's crust are given according to (Zaporozhtseva, Pystin, 1994)).

В разрезе второго сейсмоструктурного этажа отмечаются четко выраженные в волновом поле сейсмические границы  $K_1$  и  $K_2$  на глубинах соответственно 11–18 и 18–35 км. Горизонт  $K_1$  отвечает поверхности диоритогнейсового комплекса (Запорожцева, Пыстин, 1994). Обменные волны от нее фиксируются уверенно в первых вступлениях. Граница прослеживается непрерывно в Кировско-Кажимском авлакогене и Вычегодском прогибе, погружаясь с запада на восток. В пределах Тимана горизонт  $K_1$  проявляется фрагментарно. В Предуральском прогибе отмечается уверенное отражение данной границы с залеганием на глубинах 15–18 км. Во многих регионах она является четкой сейсмической границей. Сейсмический горизонт  $K_2$  находится в нижней части диоритогнейсового комплекса, повторяя характер проявления в волновом поле горизонта  $K_1$ , только в Предуральском прогибе погружается с запада на восток с 25 до 35 км.

Поверхность третьего сейсмоструктурного этажа залегает на глубинах 23–40 км и идентифицируется нами как граница Конрада ( $K_3$ ), отвечающая поверхности гнейсогранулитового структурно-вещественного комплекса (Запорожцева, Пыстин, 1994). Необходимо отметить, что это не просто поверхность, а сильно расслоенная зона, возможно, в этом глубинном интервале находится “волновод” с пониженными скоростями. Третий ССЭ отличается повышенными скоростями 7.0–7.2 км/с. Мощность комплекса значительно сокращена с запада на восток (от 19 до 13 км) и характеризуется сложным строением, обусловленным существованием горизонтальных неоднородностей. В пределах Кировско-Кажимского авлакогена и западной части Вычегодского прогиба внутри комплекса прослеживается горизонт  $K_4$  на глубинах 32–33 км.

Важнейший раздел в консолидированной земной коре – ее подошва, граница Мохоровичича, которая характеризуется повышенной интенсивностью, частотой повторения обменной волны и глубинами залегания 40–48 км. Она уверенно выделяется и практически без перерывов прослеживается по всему профилю. В западной части профиля горизонт залегает на глубине 41–42 км (Кировско-Кажимский прогиб), в восточной (Предуральский прогиб) – 42–48 км, в центральной части профиля (Тиманская гряда) поверхность Мохо повышается с 42 до 38 км. Средние скорости верхней мантии в пределах изучаемой территории 8.0–8.2 км/с (Краснопевцева, Щукин, 1996).

Далее выделяется горизонт, который, как и граница Мохоровичича, отчетливо отражается в волновом поле, иногда даже более интенсивно. Он залегает на глубинах 50–55 км и по форме повторяет поведение горизонта М. По характеру обмена данная поверхность очень похожа на вышезалегавшую, она приурочена к горизонту в верхней мантии ( $M_1$ ). В разрезе верхней мантии выделяется гра-

ница  $M_2$  на глубине 55–58 км, которая прослеживается достаточно уверенно. Кроме того, в верхней мантии выделяются отдельные площадки обмена, которые предположительно можно объединить в общую границу. На глубинах от 65 до 80 км в восточной части профиля обнаруживаются отдельные площадки обмена, но из-за усложнения волновой картины на больших временах затруднительна корреляция этих площадок.

Материалы сейсмологических работ позволили выделить глубинные зоны разрывных нарушений двух категорий: предположительно глубинные разломы; границы разнородных блоков коры или верхней мантии (пограничные зоны). Критерии выделения зон разрывных нарушений по категориям близки. Во-первых, резкая смена структуры волновых полей, выраженная в изменении динамических характеристик сейсмических полей, фиксируемых в непосредственной близости от разлома. Во-вторых, существенный перепад глубины залегания основных сейсмических границ. В-третьих, резкое изменение структуры земной коры или верхней мантии при переходе от одного участка профиля к другому (изменение степени дифференциации слоев по упругим свойствам, мощности отдельных слоев). Для большей достоверности мы выделили только зоны, где отмечалось большинство таких признаков. Местонахождение зоны нарушений трассируется обычно между смежными пунктами, иногда ее можно проследить и в непосредственной близости от точки регистрации.

*Кировско-Кажимский авлакоген.* На глубине 0.5–1.0 км в осадочной толще прослежена граница обмена, отождествляемая с кровлей карбонатных отложений карбона–нижней перми. Кристаллический фундамент залегает на глубинах 5–7 км. Мощность кристаллической части земной коры составляет 35–36 км. В разрезе ее толщи выделяется горизонт  $K_{1-4}$ , поверхность Мохо располагается на отметках 41–42 км.

*Вычегодский прогиб.* От предыдущего геоблока прогиб отделяется сквозькоровым разломом. В осадочном комплексе чехла в том же интервале глубин продолжает следиться горизонт, погружаясь на восток. Отметки глубин поверхности рифейского комплекса плавно возрастают с запада на восток до 8–9 км. В разрезе консолидированной коры выделяется ряд сейсмических границ  $K_{1-4}$ , разделяющих толщу коры на три слоя. Ограничивающая подошву коры поверхность Мохо залегает на глубине 39–40 км, а горизонт  $M_1$  в верхней мантии залегает на глубине 45–47 км.

*Тиманский кряж.* От прилегающей к нему Русской плиты по совокупности ряда признаков отделяется региональным сквозькоровым разломом, падающим на восток. Поверхность рифейского складчатого комплекса (горизонт  $\Phi_0$ ) залегает на глубине 0.5–1.5 км. Поверхность дорифейского фунда-

мента (горизонт  $\Phi$ ) находится на глубинах 5–8 км. В связи с утонением мощности консолидированной коры до 26–30 км характер глубинного разреза также изменяется. Согласно корреляции здесь прослежены три горизонта  $K_{1-3}$ , разделяющие толщу коры на три слоя: верхний, переходный и нижний. Подошва земной коры находится на глубинах с отметками 37–40 км. В верхней мантии горизонты  $M_{1-2}$  практически не прослеживаются.

Полученные материалы свидетельствуют о том, что Тиманский кряж надвинут на Русскую плиту. Горизонтальная составляющая надвига, охватывающего всю земную кору, достигает 15–20 км (Структура..., 1982; Дедеев, Запорожцева, 1985). Ширина этой надвиговой зоны южнее линии профиля, в пределах Полюдова поднятия, достигает 40–45 км, а севернее района профиля – 25 км (Запорожцева, Пыстин, 1994).

Поверхность кристаллического фундамента погружается в восточном направлении и прослеживается под складчатыми структурами Тимана. Амплитуда по Западно-Тиманскому разлому достигает 1 км. В районе среднего Тимана амплитуда надвига достигает 1.0–1.5 км (Оловянишников и др., 1996). Глубинные исследования преломленными и широкоугольными отраженными волнами свидетельствуют о том, что верхнепротерозойские породы Тиманской гряды, достигающие 10 км мощности, подстилаются кристаллической корой, продолжаются под Тиман по крайней мере до 220 км (Егоркин, Костюченко, 1999). Мощность кристаллической коры в предтиманской части Русской плиты составляет 35–37 км, а в пределах Тиманского кряжа сокращается до 26–32 км. В толще кристаллической коры Русской плиты прослежены пять внутрикоровых слоев, в то время как кора Тиманского кряжа под рифейскими образованиями содержит 3–4 слоя.

*Предуральский прогиб.* Сочленение Тимана и Предуральского прогиба представлено зоной глубинного разлома. При рассмотрении этой структуры в сейсмическом разрезе данного профиля очевидна значительная степень как вертикальной расчлененности, так и горизонтальной. Мощность осадочного чехла наращивается в восточном направлении до 11 км. В разрезе осадочного чехла уверенно отмечаются три горизонта с разной степенью корреляции. Хорошо прослеживается и поверхность кристаллического фундамента, залегающая на глубинах 9–11 км. Мощность верхнего слоя земной коры составляет 6–8 км. Переходный слой наращивается на восток – с 18 до 23 км. Мощность нижнего слоя – 6–7 км. Поверхность верхней мантии погружается под структуры Урала с 41 до 48 км. Аналогично погружаются горизонты  $K_2$  с 27 до 34 км и  $K_3$  с 34 до 41 км. В консолидированной части земной коры выделяется, кроме хорошо коррелируемых горизонтов  $K_{1-3}$ , серия обменных площадок в запад-

ной и центральной частях Предуральского прогиба. Эти блоки ограничены глубинными сквозькорыми разломами. В верхней мантии до глубин порядка 60 км выделяется ряд горизонтов, также испытывающих погружение на восток. В восточной части профиля на глубинах 60–80 км отмечаются отдельные точки обмена, которые свидетельствуют о повышенной обменнонасыщенности среды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате интерпретации записей МОВЗ и последующего математического моделирования построен геолого-геофизический разрез до глубины порядка 100 км и выделен ряд сейсмических границ. Опорными границами обмена являются:  $\Phi_0$  – поверхность рифейского складчатого фундамента,  $\Phi$  – поверхность дорифейского кристаллического фундамента,  $M$  – поверхность Мохоровичича, отождествляемая с кровлей верхней мантии. Дополнительно прослежены горизонты:  $K_1$ – $K_4$  – в земной коре,  $M_1$ ,  $M_2$  – в верхней мантии. Выделенные вдоль профиля тектонические блоки разделены крупными региональными разломами. Их выделение и прослеживание на глубину осуществляются по ряду признаков, основные из которых следующие: резкое поглощение сейсмических волн в зоне разлома, скачкообразное смещение сейсмических границ. На сейсмическом разрезе отмечены четыре региональных геоблока, различающиеся по глубине залегания поверхности фундамента, раздела Мохоро, а также глубинными особенностями строения консолидированной коры: Кировско-Кажимский авлакоген, Вычегодский прогиб, Тиманский кряж и Предуральский прогиб. Установлена вертикальная расслоенность консолидированной земной коры, которая интерпретируется как первичная региональная стратификация, отвечающая этапам формирования крупных структурно-вещественных геологических комплексов, выделяемых в качестве сейсмоструктурных этажей. Каждый этаж, имеющий гетерогенное строение по латерали и характеризующийся определенными физическими параметрами, отражающими структурно-вещественный состав и особенности внутренней структуры, выделяется относительно выдержанными сейсмическими границами раздела.

Глубинные сейсмические исследования МОВЗ обнаруживают региональные особенности строения земной коры и являются основой для построения тектонических моделей крупных геологических объектов.

## Благодарности

Выражаем благодарность сотрудникам Института геологии Коми НЦ УрО РАН, участвовавшим в проведении полевых работ: В.А. Лютоеву, Н.Н. Носковой, С.С. Клименко, А.А. Сырцеву, А.С. Микушеву,

А.Н. Климушеву, Д.А. Суворову. Выражаем признательность академику [Н.П. Юшкину], Н.А. Малышеву, [Б.А. Пименову], [В.Г. Оловянишникову], А.М. Пыстину за поддержку и консультации в проведении исследований, сотрудникам Института геофизики УрО РАН В.С. Дружинину и Г.И. Парыгину за участие в проведении и консультации при обработке профильных сейсмологических наблюдений. Мы благодарны сотрудникам Центра ГЕОН С.Л. Костюченко, [Е.Е. Золотову], [А.В. Егоркину], В.А. Ракитову, В.В. Неядько за консультации по вопросам обработки и интерпретации полученного материала.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Автонеев С.В., Дружинин В.С., Кашубин С.Н. (1988) Глубинное строение Южного Урала по Тройскому профилю ГСЗ. *Сов. геол.*, (7), 47-53.
- Булин Н.К., Берлянд Н.Г., Булавко Л.Ф. (1976) Глубинное строение Тимано-Печорской провинции (по геофизическим данным). *Сов. геол.*, (1), 115-123.
- Дедеев В.А., Запорожцева И.В. (1985) Земная кора европейского Северо-Востока СССР. Л.: Наука, 96 с.
- Дружинин В.С., Рыжий Б.П., Карстин Ю.С. и др. (1996) О тектоническом районировании Урала и сопредельных территорий на глубинной и геологической основе. *Глубинное строение и развитие Урала. Мат-лы науч.-производств. конф., посвящ. 50-летию Баженовской геофизической экспедиции*. Екатеринбург: Наука, Урал. отделение, 55-65.
- Егоркин А.В., Костюченко С.Л. (1999) Сейсмические свидетельства о наличии кристаллического фундамента под верхнепротерозойскими образованиями Тиманской гряды. *Тектоническая эволюция Тимана, Печорского бассейна и Севера Урала. Докл. Междунар. сем. Европроба, Тимпбар*. Сыктывкар: Геопринт, 19-20.
- Запорожцева И.В., Пыстин А.М. (1994) Строение дофанерозойской литосферы Европейского Северо-Востока России. СПб.: Наука, 112 с.
- Костюченко С.Л., Золотов Е.Е., Егоркин А.В., Удоратин В.В. (2002) Глубинная структура Тимано-Печорской провинции и прилегающей части Русской плиты. *Тектоника и геофизика литосферы. Мат-лы XXXV Тектонического совещ.* Т. 1. М.: ГЕОС, 274-277.
- Краснопевцева Г.В., Щукин Ю.К. (1996) Тектоническая делимость земной коры Восточно-Европейской платформы. *Геофизика*, (4), 19-24.
- Оловянишников В.Г., Бушуев А.С., Дохсаньянц Э.П. (1996) Строение зоны сочленения Русской и Печорской плит по геолого-геофизическим данным. *Докл. АН*, **351**(1), 88-92.
- Структура платформенного чехла Европейского Севера СССР. (1982) Под ред. В.А. Дедеева. Л.: Наука, 200 с.
- Удоратин В.В. (1998) Структура волнового поля удаленных землетрясений (на примере сейсмологического профиля "Сыктывкар-Усть-Нем"). *Структура, вещество, история литосферы Тимано-Североуральского сегмента. Мат-лы VII науч. конф. Института геологии Коми НЦ УрО РАН*. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 165-171.
- Удоратин В.В. (1999) Литосфера Вычегодского прогиба по профилю "Сыктывкар-Усть-Нем". *Геология и минеральные ресурсы Европейского Северо-Востока*

- России: новые результаты и новые перспективы. Мат-лы XIII Геол. съезда Республики Коми. Т. II*. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 60-63.
- Удоратин В.В. (2002) Глубинное строение и сейсмичность юга Республики Коми. Екатеринбург: УрО РАН, 72 с.
- Удоратин В.В. (2003) Структура земной коры зоны сочленения Вычегодского прогиба и Тимана по сейсмическим данным. *Строение литосферы и геодинамика. Мат-лы XX Всерос. молодеж. конф.* Иркутск: СО РАН, 269-270.
- Удоратин В.В. (2004) Новые данные о структуре земной коры юга Тимано-Печорской провинции по материалам МОБЗ. *Геодинамика и геологические изменения в окружающей среде северных регионов. Мат-лы Всерос. конф. с междунар. участием. Т. 2*. Архангельск: Ин-т экол. проблем Севера УрО РАН, 307-310.
- Удоратин В.В. (2011) Геолого-геофизический разрез МЕЗТИМРЕСН (Мезень-Тиман-Печора). *Атлас Республики Коми*. М.: ДИК, 62-63.
- Удоратин В.В., Конанова Н.В. (2000) Глубинное строение литосферы по профилю МЕЗТИМРЕСН. *Отчет геол.*, (1), 44-50.
- Удоратин В.В., Лютоев В.А., Парыгин Г.И. и др. (1998) Строение литосферы северо-востока Русской и юга Печорской плит по профилю МЕЗТИМРЕСН. *Проблемы геологии Пермского Урала и Приуралья. Мат-лы регион. науч. конф.* Пермь: Изд-во ПГУ, 3-4.
- Удоратин В.В., Попов И.В. (2007) Структура земной коры юга Печорской плиты по результатам геофизических исследований. *Тр. Печоро-Ильчского заповедника. Вып. 15*. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 5-12.
- Югова Н.Н., Удоратин В.В. (2000) Амплитуды обменных волн типа PS от границ в земной коре (на примере профиля "Сыктывкар-Усть-Нем"). *Геология и геоэкология Фенноскандинавского щита, Восточно-Европейской платформы и их обрамления. Мат-лы XI Молодеж. науч. конф., посвящ. памяти К.О. Кратца*. Петрозаводск: Кар. НЦ РАН, 180-183.

## REFERENCES

- Avtoneev S.V., Druzhinin V.S., Kashubin S.N. (1988) The deep structure of the Southern Urals along the Troyskiy profile of the GSZ. *Sov. Geol.*, (7), 47-53. (In Russian)
- Bulin N.K., Berlyand N.G., Bulavko L.F. (1976) The deep structure of the Timan-Pechora province (according to geophysical data). *Sov. Geol.*, (1), 115-123. (In Russian)
- Dedeev V.A., Zaporozhtseva I. V. (1985) *Zemnaya kora evropeiskogo Severo-Vostoka SSSR* [Earth crust of the European Northeast USSR]. Leningrad, Nauka Publ., 96 p. (In Russian)
- Druzhinin V.S., Ryzhii B.P., Karstin Yu.S. et al. (1996) On the tectonic zoning of the Urals and surrounding territories on a deep and geological basis. *Glubinnoe stroenie i razvitie Urala. Materialy nauchno-proizvodstvennoi konferentsii, posvyashchennoi 50-letiyu Bazhenovskoi geofizicheskoi ekspeditsii* [The deep structure and development of the Urals. Proc. research and production conference dedicated to the 50th anniversary of the Bazhenovskaya Geophysical Expedition]. Ekaterinburg, Nauka, Ural. otделение Publ., 55-65. (In Russian)
- Egorokin A.V., Kostyuchenko S.L. (1999) Seismic evidence of the presence of a crystalline basement under the Upper

- Proterozoic formations of the Timan Ridge. *Tektonicheskaya evolyutsiya Timana, Pechorskogo basseina i Severa Urala. Doklady Mezhdunar. Seminara Evroproba TIM-PEBAR* [The tectonic evolution of Timan, the Pechora Basin and the north of the Urals. Reports of the Europrobe International Workshop, Thimpebar]. Syktyvkar, Geoprint Publ., 19-20. (In Russian)
- Kostyuchenko S.L., Zolotov E.E., Egorkin A.V., Udoratin V.V. (2002) The deep structure of the Timan-Pechora province and the surrounding part of the Russian Plate. *Tektonika i geofizika litosfery. Materialy XXXV Tektonicheskogo soveshch.* [Tectonics and Geophysics of the Lithosphere. Proc. XXXV Tectonic Meeting]. Moscow, GEOS Publ., 274-277. (In Russian)
- Krasnopevtseva G.V., Shchukin Yu.K. (1996) Tectonic visibility of the Earth's crust of the East European Platform. *Geofizika*, (4), 19-24. (In Russian)
- Olovyanishnikov V.G., Bushuev A.S., Dokhsan'yants E.P. (1996) The structure of the junction zone of the Russian and Pechora plates according to geological and geophysical data. *Dokl. Akad. Nauk*, **351**(1), 88-92. (In Russian)
- Struktura platformennogo chekhla Evropeiskogo Severa SSSR* (1982) (Ed. V.A. Dedeev) [The structure of the platform cover of the European North of the USSR (Ed. V.A. Dedeev)]. Leningrad, Nauka Publ., 200 p. (In Russian)
- Udoratin V.V. (1999) Lithosphere of the Vychehga depression along the "Syktyvkar – Ust-Nem" profile. *Geologiya i mineral'nye resursy Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii: novye rezul'taty i novye perspektivy. Materialy XIII Geol. S"ezda Respubliki Komi* [Geology and mineral resources of the European North-East of Russia: new results and new perspectives Proc. XIII Geol. Congress of Komi Republic]. Syktyvkar, Komi NTs UrO RAN, 60-63. (In Russian)
- Udoratin V.V. (2002) *Glubinnoe stroenie i seismichnost' yuga Respubliki Komi* [The deep structure and seismicity of the south of the Komi Republic]. Ekaterinburg, UrO RAN, 72 p. (In Russian)
- Udoratin V.V. (2003) The structure of the earth's crust in the junction zone of the Vychehga depression and Timan according to seismic data. *Stroenie litosfery i geodinamika. Materialy XX Vseros. Molodezhnoi konf.* [The structure of the lithosphere and geodynamics. Proc. XX All-Russian Youth Conf]. Irkutsk, SO RAN, 269-270. (In Russian)
- Udoratin V.V. (2004) New data on the structure of the earth's crust in the south of the Timan-Pechora province based on earthquake converted-wave method materials. *Geodinamika i geologicheskie izmeneniya v okruzhayushchei srede severnykh regionov. Materialy Vseros. konf. s mezhdunar. uchastiem. T. 2* [Geodynamics and geological changes in the environment of the northern regions. Materials of the All-Russian conf. with intern. Particip. V. 2]. Arkhangelsk, Institute of ecological problem Severa, UrO RAN, 307-310. (In Russian)
- Udoratin V.V. (2011) Geological and geophysical section MEZTIMPECH (Mezen–Timan–Pechora). *Atlas Respubliki Komi* [Atlas of the Komi Republic]. Moscow, DIK Publ., 62-63. (In Russian)
- Udoratin V.V., Konanova N.V. (2000) Deep structure of the lithosphere according to the profile MEZTIMPECH. *Otech. Geol.*, (1), 44-50. (In Russian)
- Udoratin V.V., Lyutoev V.A., Parygin G.I. et al. (1998) The structure of the lithosphere of the northeast Russian and southern Pechora plates along the profile MEZTIMPECH. *Problemy geologii Permskogo Urala i Priural'ya. Materialy regional'noi nauchnoi konferentsii* [Problems of geology of the Perm Urals and Cis-Urals. Materials of the regional sci. conf.]. Perm, PGU Publ., 3-4. (In Russian)
- Udoratin V.V., Popov I.V. (2007) The structure of the earth's crust in the south of the Pechora plate according to the results of geophysical studies. *Tr. Pechoro-Ilychskogo zapovednika. Vyp. 15.* Syktyvkar, Komi NTs UrO RAN, 5-12. (In Russian)
- Yugova N.N., Udoratin V.V. (2000) The amplitudes of PS-type exchange waves from the borders in the earth's crust (using the "Syktyvkar–Ust-Nem" profile as an example). *Geologiya i geoekologiya Fennoskandinavskogo shchita, Vostochno-Evropeiskoi platformy i ikh obramleniya. Materialy XI molodezhnoi konf., posvyashchennoi pamyati K.O. Krattsa* [Geology and geoecology of the Fennoscandinavian shield, the East European platform and their framing. Materials of the XI Youth Sci. Conf. dedicated to the memory of K.O. Kratts]. Petrozavodsk, Kar. NTs RAN, 180-183. (In Russian)
- Zaporozhtseva I.V., Pystin A.M. (1994) *Stroenie dofanerozoiskoi litosfery Evropeiskogo Severo-Vostoka Rossii* [Structure of the Prefanerozoic lithosphere of the European Northeast of Russia]. St.Petersburg, Nauka Publ., 112 p. (In Russian)