

Сейсмотомография Восточно-Европейской и Баренцево-Печорской платформ: трехмерная P -скоростная модель мантии под Волго-Уралией, Прикаспийской впадиной и Баренцево-Печорской платформой

© Т. А. Цветкова, Л. А. Шумлянская, И. В. Бугаенко,
Л. Н. Заец, 2010

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 28 ноября 2009 г.

Представлено членом редколлегии В. И. Старостенко

Стаття є продовженням циклу статей із сейсмічної томографії мантиї під Східноєвропейською платформою (СЄП). Тривимірну P -швидкісну модель мантиї під СЄП і Баренцево-Печорською платформою (БПП) розглянуто у контексті тривимірної P -швидкісної моделі мантиї під Євразією. За швидкісними характеристиками на глибинах 50—500 км мантия під СЄП об'єднана з мантиєю під БПП. У шарі сейсмічної літосфери мантия під об'єднаною зоною СЄП і БПП відзначається високими швидкостями, як і мантия під всією територією Північної Євразії, за винятком південної частини Сибірської платформи. Швидкісні характеристики мантиї під східною частиною об'єднаної зони СЄП + БПП зазнають впливу мантийної швидкісної зони під Західносибірською плитою.

The article is an extension of the set of papers on seismic tomography of the mantle under the East-European platform (EEP). Three-dimensional P -velocity model of the mantle under the EEP and the Barents-Pechora platform (BPP) is considered in the context of three-dimensional P -velocity model of the mantle under Eurasia. According to velocity characteristics at the depth of 50—500 km the mantle under EEP is integrated with the mantle under BPP. In the layer of seismic lithosphere the mantle under the integrated area of EEP and BPP is specific by high velocities as well as the mantle under the whole territory of the Northern Eurasia except the southern half of the Siberian platform. Velocity characteristics of the mantle under the eastern part of integrated area of EEP + BPP is influenced by mantle velocity area under the West-Siberian platform.

Введение. Данная статья является продолжением цикла статей по сейсмической томографии мантии под Восточно-Европейской платформой (ВЕП). Трехмерная P -скоростная модель мантии под ВЕП и Баренцево-Печорской платформой (БПП) рассматривается в контексте трехмерной P -скоростной модели мантии под Евразией. Работы по созданию последней были инициированы В. С. Гейко и выполнялись при его непосредственном участии.

Трехмерная P -скоростная модель мантии под ВЕП получена методом Тейлорового приближения решения задачи сейсмической томографии, предложенным В. С. Гейко [Geuko,

2004]. Решение, полученное по этому методу, не зависит от заданного начального приближения (одномерной референтной модели). Метод предполагает построение обобщенного поля времен в формате средней точки, построение годографов — сечений преломленных волн указанного обобщенного поля времен с последующим их обращением [Гейко и др., 1998; Geuko, 2004]. Как уже отмечалось [Гейко и др., 2005], в работе использованы времена прихода первых вступлений P -волн на станции мировой сейсмологической сети, представленные в бюллетенях ISC. Тем не менее в силу расположения источников, в ос-

новном очагов землетрясений, и недостаточного количества станций в стабильных областях континентов нет возможности получить детальное скоростное строение мантии под такими регионами как: восточная часть ВЕП, БПП, большая часть Западно-Сибирской плиты, Сибирская платформа. На рис. 1 представлена карта-схема плотности наблюдений территории Европы [Гейко и др., 1998]. Недостаточное количество появившихся новых станций, к сожалению, не изменило картину по существу. Здесь d — плотность системы наблюдений определена как $d = \log(100 N/S)$, где N — число лучей, вершины которых расположены под областью с площадью S на поверхности мантии, измеренной в единицах градус на градус. Из рис. 1 следует, что плотность наблюдений в восточной части ВЕП ниже, чем плотность наблюдений в ее западной и юго-западной частях. Недостаточна плотность наблюдений и для БПП. С этих позиций следует оценивать детальность полученной трехмерной P -скоростной модели мантии под ВЕП и БПП. На рис. 2 представлена тектоническая схема рассматриваемого региона.

Аналогично скоростным характеристикам мантии под Сарматией и Фенноскандией трехмерная P -скоростная модель представлена в

виде горизонтальных, с шагом 25 км, и вертикальных (долготных и широтных), с шагом 1° , сечений до глубины 850 км. Выделение высоких и низких скоростей, построение невязок скоростей проводилось относительно обобщенной средней скорости [Гейко и др., 2005], использованной в качестве референтной модели при представлении результатов (таблица).

Прежде чем перейти к скоростным характеристикам мантии, обратим внимание на следующее. Авторы определяют слой Голицына — Гейко как скоростную характеристику переходной зоны верхней мантии. Под термином сейсмологическая литосфера понимается высокоскоростной слой верхней мантии до переходной зоны, под дислокациями Ю.К. Щукина — ситуация, связанная с подъемом низкоскоростных аномалий из средней мантии через зону раздела-1 в слой Голицына — Гейко (детально см. [Цветкова и др., 2010]).

В современном представлении под БПП понимают Тимано-Печорскую и Свальбардскую плиты. Согласно В.Е. Хаину [Хайн, 2001], западным ограничением БПП являются каледониды западного Шпицбергена, восточным — Урало-Новоземельская покровно-складчатая система.

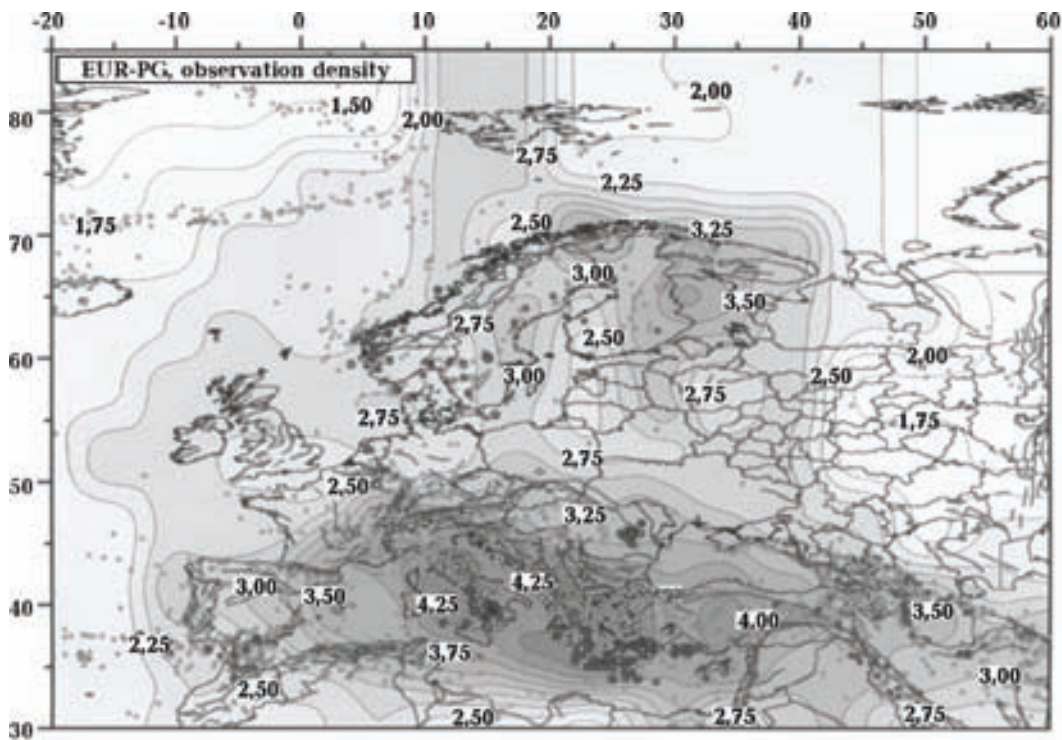


Рис. 1. Плотность наблюдения.

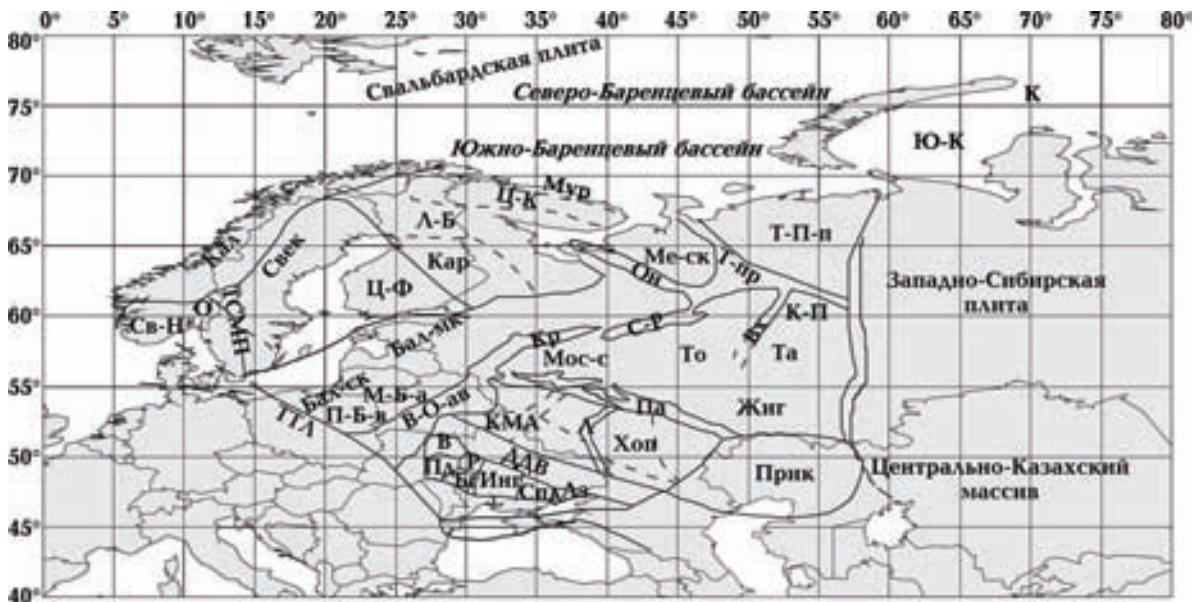


Рис. 2. Тектоническая схема исследуемой территории по В. Е. Хаину [Хаин, 2001]: Аз — Приазовский блок УЩ, Бал-мк — Балтийская моноклираль, Бал-с — Балтийская синеклиза, Бг — Бугский блок УЩ, В-О-ав — Вольно-Оршанский авлакоген, В — Волынский блок УЩ, Вя — Вятский авлакоген, ДДВ — Днепровско-Донецкая впадина, Инг — Ингульский блок УЩ, Жиг — Жигулевское поднятие, К — Карское море, Кал — Скандинавские каледониды, Кар — Карельский блок Кольско-Карельского мегаблока, КМА — мегаблок КМА Воронежского кристаллического массива, К-П — Коми-Пермятский свод, Кр — Крестовский авлакоген, Л — Лосевская шовная зона Воронежского кристаллического массива, Л-Б — Лапландско-Беломорский гранитогнейсовый пояс Кольско-Беломорского мегаблока, М-Б-а — Мазуро-Белорусская антеклиз, Мос-с — Московская синеклиза, Ме-ск — Мезенская синеклиза, Мур — Мурманский блок Кольско-Карельского мегаблока, О — грабен Осло (Свеко-норвежский мегаблок), Он — Онежский грабен (Кольско-Карельский мегаблок), Па — Пачелмский авлакоген, П-Б-а — Подляско-Брестская впадина, Пд — Подольский блок УЩ, Прик — Прикаспийская впадина, Р — Росинский блок УЩ, С-Р — Среднерусский авлакоген, Спд — Среднеприднепровский блок УЩ, Св-Н — Свеко-норвежский мегаблок, Свек — Свекофенский мегаблок, ТСМП — Трансскандинавский магматический пояс, ТТЛ — линия Тейссейре — Торнквиста, Т-П-п — Тимано-Печорская плита, Т-пр — Тиманский прогиб, Та — Татарский свод, То — Токмовский свод, Хоп — Хоперский мегаблок ВКМ, Ц-К — Центрально-Кольский блок (Кольско-Карельский мегаблок), Ц-Ф — Центральный Финляндский массив (Свекофенский мегаблок), Ю-К — Южно-Карская впадина.

По скоростным характеристикам мантия под ВЕП делится на три части (Фенноскандию, Сарматия, Волго-Уралию с Прикаспийской впадиной) высокоскоростной полосой юго-западно—северо-восточного простирания [Цветкова и др., 2005]. Такое деление, в целом, соответствует введенному С. В. Богдановой делению фундамента ВЕП [Bogdanova et al., 1996]. В настоящей статье, учитывая расположение в горизонтальных сечениях полосы раздела и представленное уже скоростное строение Сарматии и Фенноскандии [Гейко и др., 2005; Цветкова и др., 2009; 2010], нас будет интересовать мантия под восточной частью ВЕП (Мезенская синеклиза, Московская синеклиза, Волго-Уральская антеклиз) и Прикаспийской впадиной, а также мантия под

северным окаймлением ВЕП (БПП). Рассмотрение скоростных характеристик мантии под БПП связано со следующим. На рис. 3 представлено горизонтальное сечение трехмерной P -скоростной модели мантии под Евразией на глубине 50 км. Начиная с этой глубины, согласно референтной модели ($V_{ref} = 7,93$ км/с) выделяется низкоскоростной Трансевразийский пояс, с юга ограничивающий распространение высоких скоростей в мантии под Северной Евразией.

В целом в слое сейсмологической литосферы мантия под Северной Евразией характеризуется высокими скоростями, за исключением мантии под южной половиной Сибирской платформы. Согласно горизонтальным сечениям такая характеристика сохраняется

**1D референтная модель верхней мантии
Евразии**

Глубина, км	V_{\min} , км/с	V_{\max} , км/с	V_{average} , км/с
50	7,458	8,203	7,929629
75	7,634	8,275	8,010952
100	7,693	8,343	8,08223
125	7,927	8,421	8,139054
150	7,987	8,465	8,189975
175	8,026	8,533	8,241168
200	8,086	8,568	8,295821
225	8,182	8,597	8,355837
250	8,268	8,636	8,422751
275	8,322	8,699	8,498226
300	8,416	8,788	8,584044
325	8,523	8,938	8,682515
350	8,63	9,062	8,79453
375	8,732	9,174	8,918518
400	8,821	9,307	9,053036
425	8,835	9,431	9,176933
450	8,857	9,602	9,287932
475	8,888	9,78	9,400266
500	8,938	9,952	9,521788
525	9,027	10,117	9,661266
550	9,291	10,273	9,828119
575	9,408	10,303	10,00855
600	9,829	10,41	10,17991
625	9,999	10,537	10,3323
650	10,183	10,644	10,46646
675	10,239	10,735	10,5851
700	10,528	10,828	10,69028
725	10,654	10,899	10,7827
750	10,751	10,982	10,86553
775	10,839	11,053	10,94084
800	10,916	11,117	11,01008
825	10,987	11,174	11,07436
850	11,051	11,227	11,13431

до глубины 200 км (рис. 3, 4), после чего начинает формироваться " мозаичность " скоростных структур, предшествующая инверсному слою Голицына — Гейко, которому соответст-

вуют низкие скорости. На фоне высоких скоростей, начиная с глубины 50 км, отслеживается связь мантийных скоростных изолиний под ВЕП с мантийными скоростными изолиниями под БПП (изолинии 8,15—8,175 км/с соответствуют глубине 50 км, 8,20—8,25 км/с — глубине 100 км, 8,35 км/с — глубине 200 км, 8,60—8,65 км/с — глубине 300 км). До глубины 200 км включительно, согласно скоростным изолиниям, в мантии определяется связь мантийных скоростных структур под Западно-Сибирской плитой с мантийными скоростными структурами под Волго-Уральской антеклизой и Новоземельской плитой (изолинии скорости 8,05—8,1 км/с на глубине 50 км, 8,15—8,2 км/с на глубине 100 км, 8,35 км/с на глубине 200 км (см. рис. 3, 4)). С глубины 250 км происходит перераспределение скоростей в связи с переходом к слою Голицына — Гейко. По скоростным характеристикам на глубине 350—400 км происходит четкое обособление мантийной скоростной области под ВЕП от мантийной скоростной области под Западно-Сибирской плитой. На глубине 450—500 км отмечается связь мантийных скоростных структур под Тимано-Печорской плитой, Волго-Уральской антеклизой и Новоземельской плитой со скоростными структурами мантии под Западно-Сибирской плитой.

Связь по изолиниям скорости с мантией под БПП сохраняется до глубины 850 км. Указанные особенности распространения изолиний скорости дают основание для рассмотрения объединенной мантийной скоростной области под ВЕП и БПП. Переходя к рассмотрению скоростных характеристик, следует отметить, что в настоящее время в связи с развитием работ по широкоугольным площадным системам наблюдения в ГСЗ активно используются для обработки полученных данных методы сейсмической томографии [Строение ..., 2005; Ritzmann et al., 2008; Levshin et al., 2008; Коган и др., 2004]. К сожалению, при этом освещаются глубины от 40 до 70 км, т. е. кора и верхи верхней мантии, что не позволяет более детально изучить скоростное строение верхней мантии в целом.

Горизонтальные сечения (рис. 3). На глубине 50 км мантийная скоростная граница, согласно принятой 1D референтной модели [Гейко и др., 2005], отделяющая высокие скорости от низких, соответствует 7,93 км/с. Особенностью скоростного строения мантии под восточной частью ВЕП, к которой авторы относят Волго-Уралию, Прикаспийскую впади-

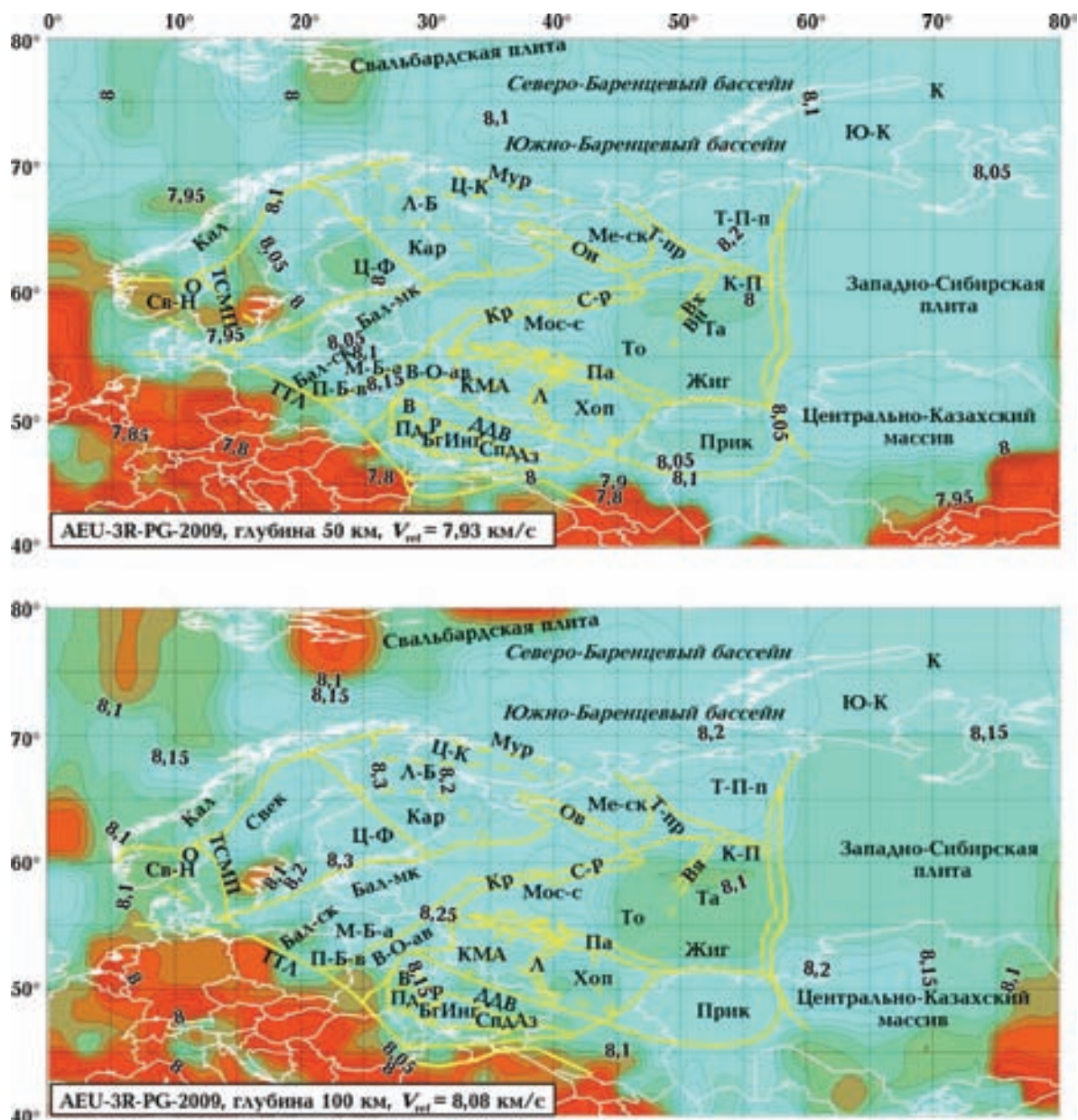
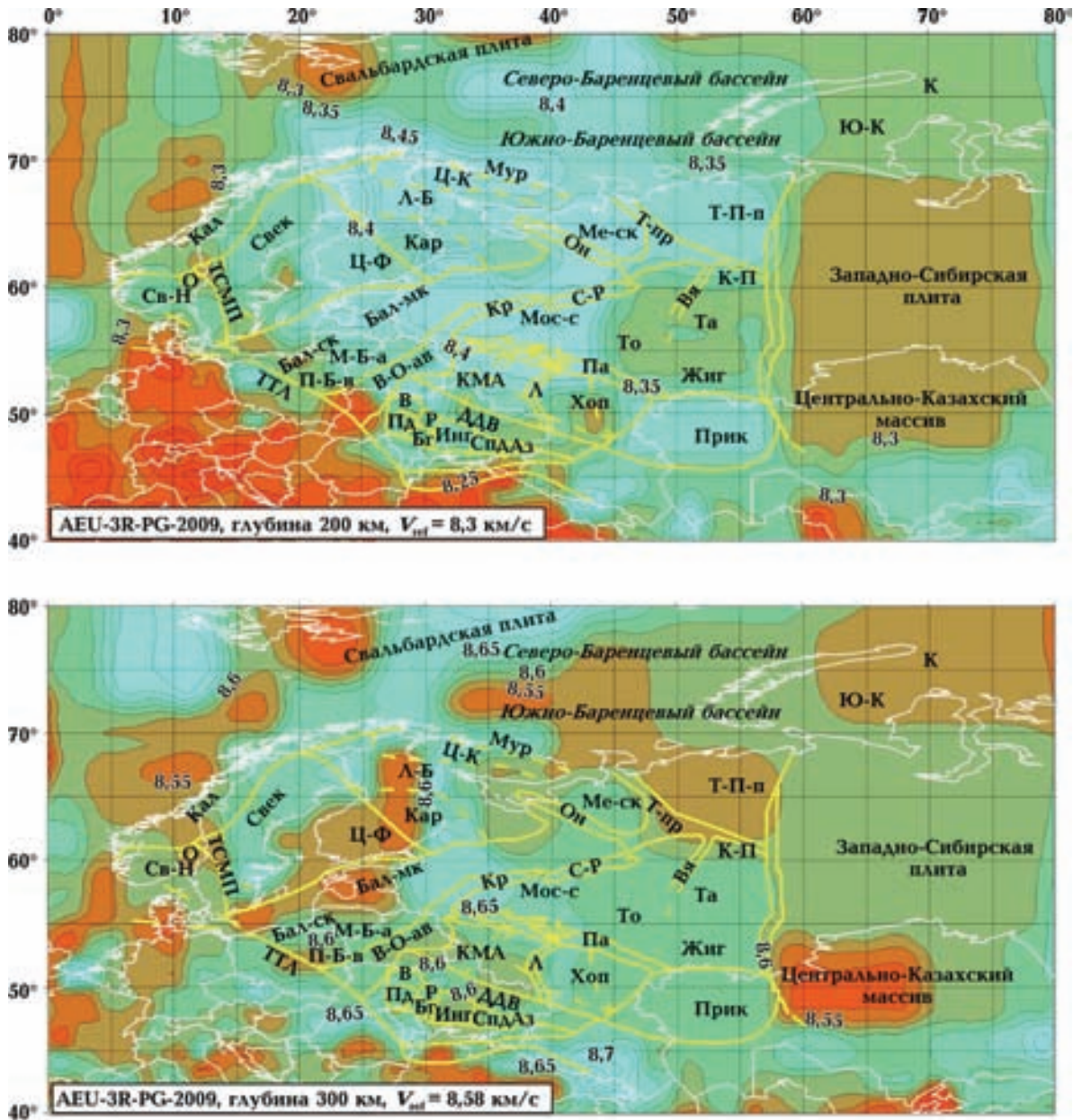


Рис. 3. Горизонтальные сечения исследуемой территории: *а* — глубина 50, 100 км, *б* — глубина 200, 300 км, *в* — глубина 400, 700 км. Условные обозначения те же, что и на рис. 1.

ну, а также Печорскую синеклизу Тимано-Печорской плиты является выделение мантии под Волго-Уральской антеклизой и восточной частью Московской синеклизы как аномальной области распространения на запад мантийных скоростных структур под азиатской частью Евразии, непосредственно под Западно-Сибирской плитой. На общем скоростном фоне ($8,05 \text{ км/с}$), характеризующем мантию под Западно-Сибирской плитой, в пределах скоростной области, границы кото-

рой определяются изолиниями скорости $8,05\text{--}8,07 \text{ км/с}$ выделяется более низкоскоростная аномалия ($8,025 \text{ км/с}$), соответствующая мантии под Волго-Уральской антеклизой и Прикаспийской впадиной. И в первом и во втором случае западная граница распространения аномалии, расширяясь на запад, не соответствует тектоническим границам Волго-Уральской антеклизы и Прикаспийской впадины. На юге в мантии под восточной частью ВЕП скоростная граница, соответствующая



б

Рис. 3 (продолжение).

щая референтной скорости, проходит под южной оконечностью кряжа Карпинского, отделяя низкоскоростную мантию под Скифской плитой от высокоскоростной области мантии под ВЕП. При этом высокими скоростями характеризуется мантия под Донбассом (8,025—8,05 км/с) и кряжем Карпинского (8,05—8,075 км/с). Спецификой рассматриваемого сечения является выделение мантийной скоростной области, которая ограничивается изолиниями 8,05—8,075 км/с. Изоли-

нии наблюдаются в мантии под Западно-Сибирской плитой, выходят в мантийную скоростную область, пограничную между более высокоскоростной Тимано-Печорской плитой и Волго-Уралией, огибают восточную часть мантии под Московской синеклизой, через мантийную область под Пачелмским авлакогеном выходят на мантийную область под северо-западом Хоперского мегаблока Воронежского кристаллического массива (ВКМ). Далее изолинии проходят в мантии под юго-во-

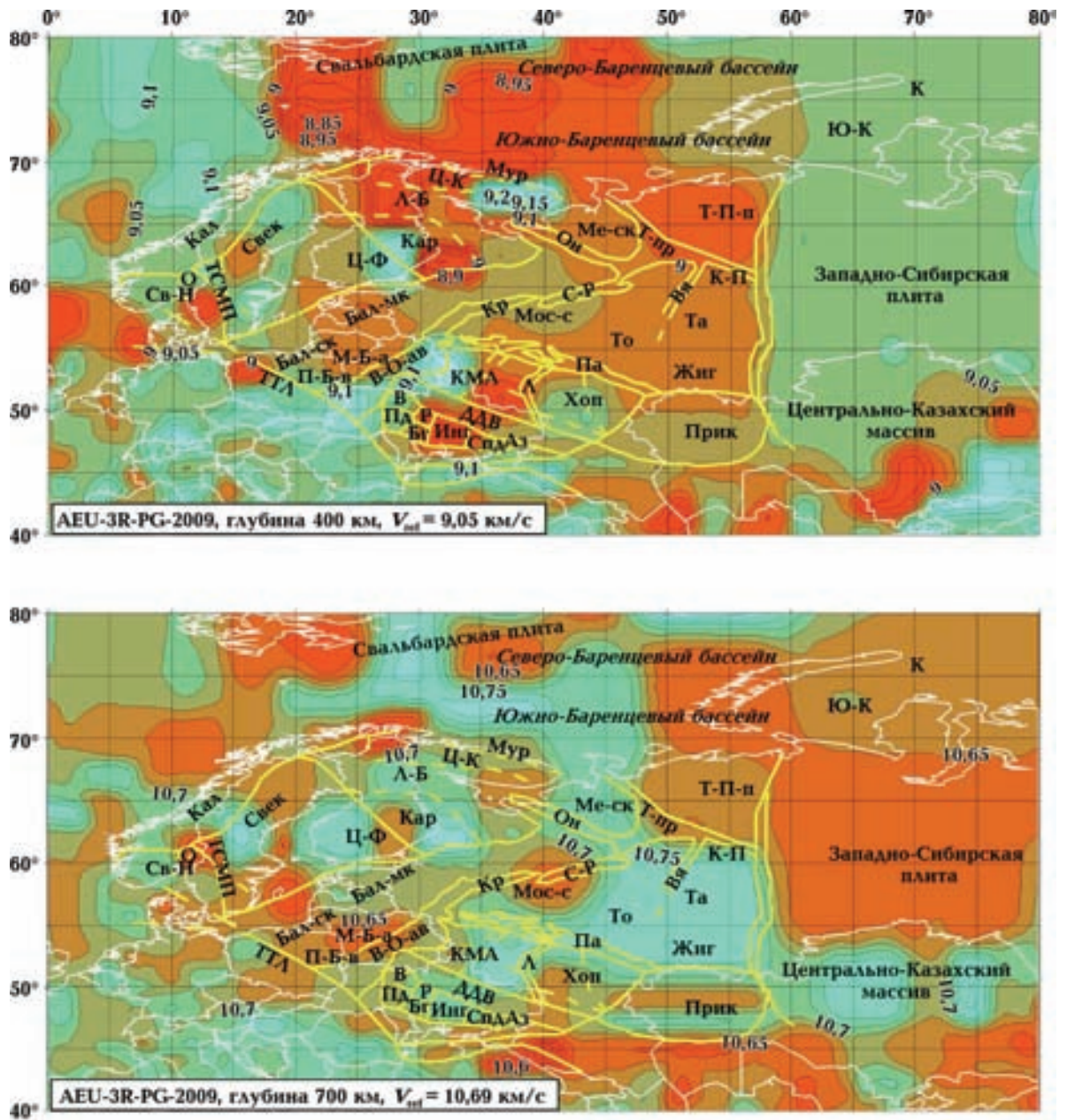


Рис. 3 (продолжение).

сточным окончанием ВКМ на мантийную область под Прикаспийской впадиной и под юго-западным окончанием последней доходят до границы под краем Карпинского. В пределах указанной мантийной скоростной области мантия под Прикаспийской впадиной делится на три части: основную центральную, характеризующуюся скоростью 8,025 км/с, северную пограничную (8,025—8,05 км/с) и южную пограничную (8,025—8,075 км/с). Мантийные пограничные скоростные зоны под

Прикаспийской впадиной достаточно четко выражены. Северной (8,025 км/с), южной и восточной (8,05—8,075 км/с) границам соответствуют изменения скоростей: от 8,05 км/с до 8,025 км/с на севере, переход к Волго-Уральской антеклизе; от 8,05 км/с к 8,075 км/с на юге и востоке, переход к мантийной скоростной области под Туранской плитой. На западе, как уже отмечалось, по скоростным характеристикам выделенная мантийная область под Прикаспийской впадиной распро-

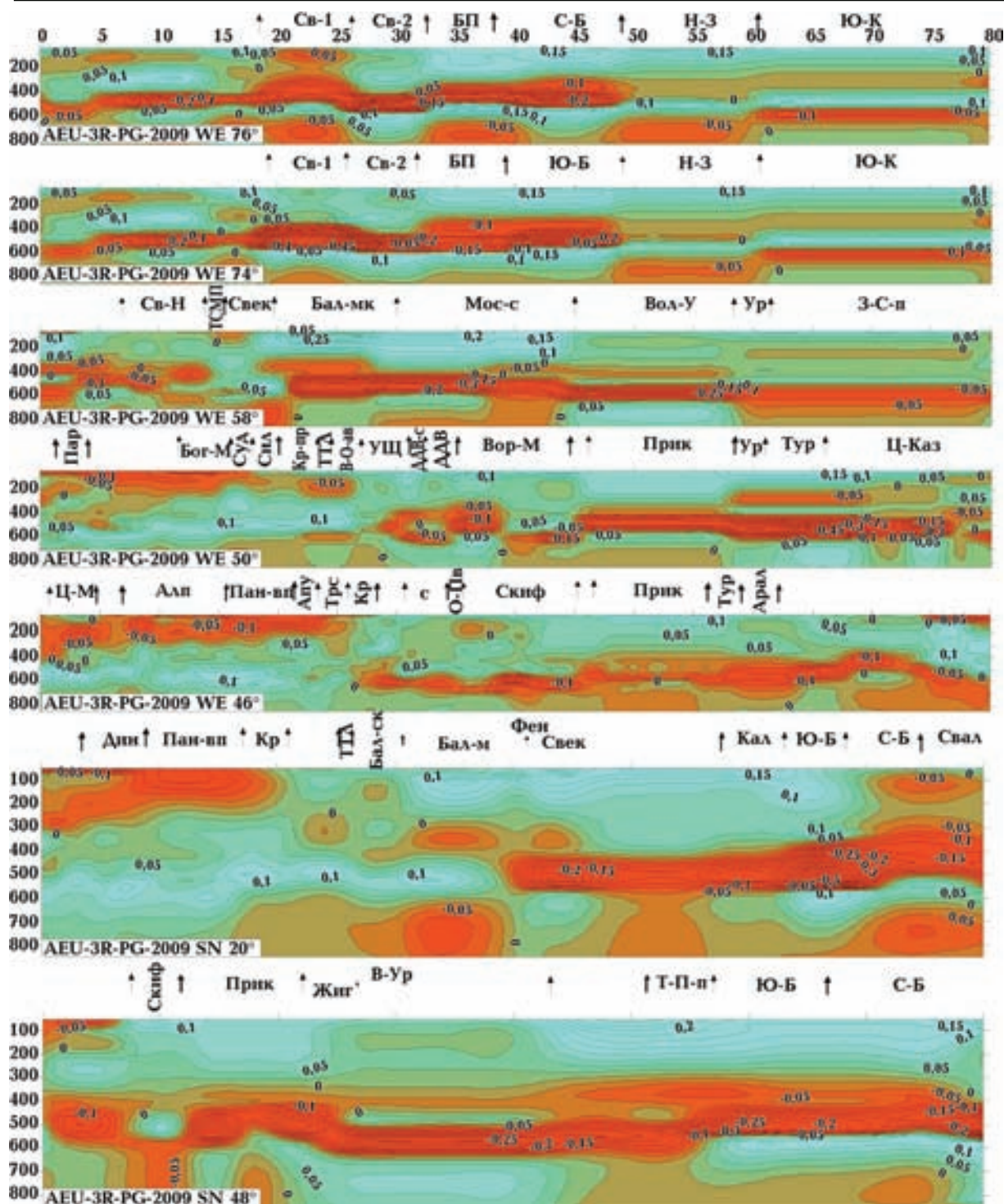


Рис. 4. Вертикальные сечения исследуемой территории: Алп — Альпы, Апу — Апусени, Бал-м — Балтийское море, Бал-мк — Балтийская моноциналль, Бог-М — Богемский массив, БП — Баренцево-Печорская плита, Вол-У — Волго-Уралья, Вор-М — Воронежский кристаллический массив, ДДВ-с — склон Днепровско-Донецкой впадины, Дин — Динариды, З-С-п — Западно-Сибирская плита, Кр — Карпаты, Кр-пр — Карпатский прогиб, Мос-с — Московская синеклиза, Н-З — Новоземельская плита, О-Пв — Орехово-Павлоградская шовная зона, Пан-вп — Паннонская впадина, Пар — Парижский бассейн, с — склон, Св-1 — Свальбардская плита-1, Св-2 — Свальбардская плита-2, Свал — Свальбард, Сил — Верхнесилезский бассейн, Скиф — Скифская плита, Суд — Судеты, С-Б — Северо-Баренцева впадина, Трс — Трансильванская впадина, Тур — Туранская плита, Ур — Урал, УЩ — Украинский щит, Фен — Фенноскандия, Ю-Б — Южно-Баренцева впадина, Ц-Каз — Центрально-Казахский массив, Ц-М — Центральный массив. Остальные обозначения см. на рис. 2.

страняется на северо-восточное окончание Сарматии (северо-восток Хоперского мегаблока ВКМ), при этом скорости меняются от 8,025 до 8,05 км/с. Следующей структурой, выделяемой в пределах скоростной мантийной области, связанной с мантийной скоростной областью под Западно-Сибирской плитой, является мантийная область, расположенная под Волго-Уральской антеклизой и захватывающая восточную оконечность мантийной области под Московской синеклизой. Мантийная область характеризуется изолиниями 8,025 км/с с аномалией в северной оконечности (8,00 км/с), занимающей субширотное промежуточное положение в мантии между Котельническим и Краснокамским поднятиями. Характерный выступ в западном направлении, определенный изолиниями 8,10—8,15 км/с, ограничивает мантию под Московской синеклизой, доходя до области, соответствующей промежутку между Крестовским и Среднерусским авлакогенами.

При использованной системе наблюдений на глубине 50 км мантия под о-вом Новая Земля по скоростным характеристикам объединена со скоростными структурами мантии под Восточно-Баренцевой впадиной и о-вами Земля Франца-Иосифа.

На глубине 50 км мантия под БПП характеризуется в основном высокими скоростями. Более низкими скоростями характеризуется мантия под западной частью БПП. К ней относится восточная часть Шпицбергена (7,95—8,075 км/с) и часть Свальбардской плиты до прогиба Франц-Виктории (8,05 км/с). Мантия под Шпицбергом делится на две части: низкоскоростную под восточной частью (7,95—8,025 км/с) и высокоскоростную под западной (8,05—8,10 км/с). Изолинии 8,10—8,125 км/с разделяют оставшуюся часть скоростной мантийной области под БПП на две части: центральную и восточную. На рассматриваемой глубине восточная часть мантии под БПП может быть представлена как продолжение на север полосы раздела ВЕП (8,10—8,125 км/с) и включает в себя скоростные области под Новоземельской плитой, Восточно-Баренцевской впадиной, южной оконечностью о-вов Земля Франца-Иосифа. Центральная часть в целом характеризуется более низкими скоростями (7,95—8,075 км/с). Граница между центральной и восточной скоростными областями проходит в мантии под прогибом Франц-Виктории, восточнее Центрально-Баренцевского поднятия и под восточной оконечностью Южно-

Баренцевской впадины выходит в мантию под п-овом Канин, т. е. под Тимано-Печорскую плиту и далее под Кольско-Карельский мегаблок Фенноскандинавского щита. В этой мантийной области выделяется высокоскоростная аномалия (8,10 км/с) под центральной частью Южно-Баренцевской впадины и Центрально-Баренцевским поднятием. Мантийная скоростная граница между центральной и западными частями проходит от мантии под о-вами Земля короля Карла, прогибом Ольги, прогибом Нордкап, далее продолжаясь на юг под Кольско-Карельским мегаблоком Фенноскандинавского щита до мантии под Балтийской моноклиналию в районе сочленения последней с мантийной полосой раздела мантии под ВЕП.

На глубине 75 км сохраняется конфигурация мантийной области под Волго-Уральской антеклизой (скорость 8,075 км/с с субширотной аномалией в северной части 8,05 км/с). Мантия под Прикаспийской синеклизой не выделяется на фоне высокоскоростной области, включающей в себя мантию под восточной частью Скифской плиты, севером Туранской плиты, вплоть до Тургайской плиты (Центрально-Азиатская складчатая зона) и имеющей три выступа:

- северо-восточно—юго-западного простираения вплоть до мантийной скоростной области под мегаантиклинорием Большого Кавказа;
- направления север—юг вплоть до мантийной скоростной области под системой Эль-Бурс;
- юго-восточного простираения до мантийной скоростной области под Центрально-Каракумским сводом Туранской плиты.

Указанная область, несколько меняя свою конфигурацию, прослеживается до глубины 150 км, за исключением первой, где отмеченная особенность сохраняется до глубины 250 км.

На глубине 100 км (референтная скорость 8,08 км/с) БПП по скоростным характеристикам разделена на три части: 1) восточную, включающую мантию под Новоземельской плитой и о-вами Земля Франца-Иосифа (8,2 км/с); 2) центральную, включающую мантию под Баренцевым морем и Тимано-Печорской плитой с выступом на север высокоскоростной мантийной области под прогибом Франц-Виктории (8,125—8,225 км/с); 3) западную, более низкоскоростную часть (8,05—8,125 км/с), включающую в себя мантию под частью Сваль-

бардской плиты (восточной частью Шпицбергена и его окружением, мантию под северной частью БПП до прогиба Франц-Виктории). Следует отметить, что по скоростным характеристикам центральная часть мантии под БПП связана со скоростными характеристиками под ВЕП, образуя единую скоростную область, характеризующуюся изолиниями 8,025 км/с на глубине 50 км, 8,125—8,2 км/с на глубине 100 км. Такое деление сохраняется до 200 км. Для этого интервала глубин в объединенную скоростную область, кроме мантии под БПП, входят: мантийная скоростная полоса раздела ВЕП, мантия под основной частью Балтийского щита и северной частью Сарматии (ВКМ), часть мантии под Волго-Уралией (выступ на запад со стороны мантии под Волго-Уральской антеклизой).

До глубины 200 км (референтная скорость 8,3 км/с) отмечается скоростная мантийная область, объединяющая мантию под Волго-Уральской антеклизой и Западно-Сибирской плитой (8,1—8,15 км/с на глубине 100 км, 8,15—8,20 км/с на глубине 125 км, 8,175 км/с на глубине 150 км, 8,27 км/с на глубине 175 км, 8,30—8,35 км/с на глубине 200 км).

Начиная с глубины 175 км, мантия под Прикаспийской впадиной характеризуется более высокими скоростями, чем под ее окружением (например, на глубине 175 км скорость 8,32 км/с на фоне 8,27 км/с). После 200 км начинается распад установившейся структуры, характеризующий переход к скоростному слою Голицына — Гейко, который окончательно устанавливается на глубине 350—400 км. С глубины 225 км отмечается перестроение плана, которое проявляется в понижении скорости относительно общего скоростного фона под Тимано-Печорской плитой, проявлении более низких скоростей под Западно-Сибирской плитой, что при наличии более высокоскоростных выступов под Новоземельскую плиту (без северной части) и под Волго-Уральскую антеклизу создает четкое разделение между мантийными структурами собственно под ВЕП и под область распространения мантийных скоростных структур под Западно-Сибирской плитой.

На глубине 300 км (референтная скорость 8,58 км/с) по скоростным характеристикам выделяется раздел мантии под Фенноскандией из трех составляющих частей [Цветкова и др., 2009]. Под территорией, объединяющей ВЕП и БПП, определяется новая, по отношению к вышележащим слоям, мантийная ско-

ростная область раздела, характеризующаяся высокими скоростями (8,625—8,65 км/с), включающая полосы раздела под Фенноскандией. В мантии под БПП она проходит под определенной выше областью раздела между центральной и западной частями БПП в юго-западно—северо-восточном направлении, расширяясь в сторону центральной части. Далее, в мантии под ВЕП, полоса раздела делится на три части. Центральная часть скоростной области раздела включает высокоскоростную мантию под центральной частью Кольско-Карельского мегаблока Фенноскандинавского щита, основную часть мантии под Московской синеклизой, Калач-Эртыльским плутоническим поясом ВКМ и заканчивается под Донбассом. Западная зона области раздела характеризуется скоростями 8,60—8,65 км/с, включает в себя мантию под западной частью Кольско-Карельского мегаблока, Свекофенский блок II Свекофенского мегаблока [Цветкова и др., 2009] до Трансскандинавской магматической зоны. Восточная часть скоростной области раздела определяет выступ в восточном направлении в сторону мантии под Южно-Баренцевым поднятием. Область сочленения определяется в мантии под северной частью прогиба Нордкап.

Следствием выделения зоны раздела является деление объединенной скоростной области мантии под ВЕП и БПП. Обширная мантийная скоростная восточная часть области характеризуется более низкими скоростями (8,55—8,625 км/с на глубине 300 км), объединяет мантию под центральной и восточной частями БПП, о-вом Новая Земля, восточной частью Центрально-Кольского блока и центральной частью Лапландско-Беломорского пояса Кольско-Карельского мегаблока, Мезенской синеклизой, частью Московской синеклизы, Волго-Уральской антеклизой, Прикаспийской впадиной, восточной половиной Хоперского мегаблока ВКМ, кряжем Карпинского, восточной частью ДДВ, Приазовским мегаблоком Украинского щита, ограничиваясь мантией под Орехово-Павлоградской шовной зоной. По скоростным характеристикам область объединена с мантией под азиатской частью Евразии под Западно-Сибирской плитой в том числе. Выделяется мантийная скоростная подобласть, которая определяется более низкими скоростями (8,575 км/с) и объединяет мантию под восточной частью Кольско-Карельского мегаблока Фенноскандинавского щита, под центральной частью БПП и

под Печорской синеклизой с мантией под Западно-Сибирской плитой.

На глубине 325—400 км указанная область расширяется на северо-запад и определяется как низкоскоростная относительно референтной модели, включая Мезенскую и Московскую синеклизы. Начиная с глубины 700 км по горизонтальным сечениям прослеживается связь по скоростным изолиниям под Волго-Уральской антеклизой, ВКМ и Украинским щитом (УЩ).

Вертикальные сечения (рис. 4) детализируют горизонтальные и представляют скоростное строение мантии до глубины 850 км. Известно, что под стабильными докембрийскими платформами проявляется общая скоростная инверсия, определяемая высокими скоростями слоя сейсмологической литосферы, низкими скоростями слоя Голицына — Гейко, высокими скоростями зоны раздела-1, низкими скоростями средней мантии и т. д.

Прикаспийская впадина (см. рис. 4; WE 46°, WE 50°, SN 48°). Согласно широтным сечениям особенностью скоростного строения мантии под Прикаспийской впадиной, прежде всего, является более ярко выраженная, чем у окружения, сейсмологическая литосфера на глубине до 350 км включительно. При этом отмечается резкий перепад по глубине по отношению к восточному и западному окружению (200 км под Уралом и Туранской плитой, 400 км под валом Карпинского, 500 км под Доно-Медведицкими дислокациями). По распространению изолиний скоростных невязок сейсмологическая литосфера под Прикаспийской впадиной служит окончанием наклонного слоя, простирающегося от кровли сейсмологической литосферы под Западно-Сибирской плитой (WE 50°). Наклонный слой связан с постепенно увеличивающейся глубиной залегания подошвы сейсмической литосферы от 50 км на границе между мантией под Сибирской платформой и Западно-Сибирской плитой до указанных выше 350 км под Прикаспийской впадиной. Отмечается выход низких скоростей из средней мантии через зону раздела-1 в слой Голицына — Гейко для пограничной на западе мантийной скоростной области под Доно-Медведицкими дислокациями и восточной оконечностью ВКМ. Слой Голицына — Гейко под Прикаспийской впадиной определяется глубинами залегания кровли — 350 км и подошвы — 550 км, максимальная невязка скорости — 0,15 км/с. Слой Голицына — Гейко под восточным окружением

Прикаспийской впадины (Туранской плитой) характеризуется низкими скоростями и присутствием в нем высокоскоростной прослойки (WE 50°). Последняя присутствует в слое Голицына — Гейко мантии под Уралом, Западно-Сибирской плитой и Центрально-Казахстанской складчатой системой.

Долготные сечения под Прикаспийской впадиной показывают формирование высокоскоростного наклонного слоя, простирающегося от мантии под Прикаспийской впадиной, далее под Скифской плитой, Кавказом, Южно-Азербайджанским массивом до Хамаданской впадины складчатой системы Загрос (SN 48°).

В мантии под центральной частью Прикаспийской впадины наблюдается выход низких скоростей из средней мантии. Он порождает в слое Голицына — Гейко две низкоскоростные аномалии и подъем подошвы слоя Голицына — Гейко по отношению к подошве этого слоя в мантии под Волго-Уральской антеклизой. При этом кровля слоя Голицына — Гейко в этой области несколько приподнята.

Волго-Уралия (см. рис. 4; WE 58°, SN 48°). При переходе от мантии под Прикаспийской впадиной к мантии под Волго-Уральской антеклизой изменяются конфигурации изолиний, характеризующих сейсмологическую литосферу. Если изолинии скоростных невязок слоя сейсмологической литосферы под Прикаспийской впадиной прогнуты вниз, то под Волго-Уральской антеклизой и Московской синеклизой — вверх. Слой сейсмологической литосферы, соответствующий мантии под Жигулевско-Оренбургским массивом, Волго-Уральской антеклизой, Московской синеклизой, определяется более низкими скоростными невязкам, чем под Мезенской синеклизой и Тимано-Печорской плитой (0,05—0,15 км/с под Волго-Уралией и 0,20—0,25 км/с под Мезенской синеклизой и Тимано-Печерской плитой). Под Волго-Уральской антеклизой в сейсмологической литосфере выделяются более низкоскоростные аномалии под Жигулевско-Оренбургским массивом и Коми-Пермяцким сводом. Аномальные невязки скорости определены как 0,025 км/с на фоне 0,05 км/с при максимальном значении невязок 0,075 км/с. Слой Голицына — Гейко под Волго-Уральской антеклизой разделяется высокоскоростной прослойкой, распространяющейся с севера со стороны аналогичного слоя Баренцевоморского шельфа. Указанная прослойка общая как для слоя Голицына — Гейко под Волго-Уральской антеклизой (ВЭП), так и для слоя Голицына —

Гейко под Тимано-Печорской плитой (БПП). Слой Голицына — Гейко под Волго-Уральской антеклизой характеризуется более низкими скоростями по сравнению со слоем Голицына — Гейко под Тимано-Печорской плитой. Зона раздела-1 высокоскоростная под Прикаспийской впадиной и Волго-Уральской антеклизой. Подошва слоя сейсмологической литосферы соответствует глубине 350 км под Волго-Уральской антеклизой так же, как и под Прикаспийской впадиной.

Баренцево-Печорская платформа (см. рис. 4; WE 58°, SN 48°). Широтные сечения показывают, что слой сейсмологической литосферы под Тимано-Печорской плитой характеризуется более высокими невязками скоростей, чем под Волго-Уральской антеклизой (0,25 км/с по сравнению с 0,15 км/с), а изолинии скорости выгнуты вниз, как и под Прикаспийской впадиной. Аналогично слою Голицына — Гейко под Волго-Уралом в низкоскоростном слое Голицына — Гейко под Тимано-Печорской плитой выделяется высокоскоростная прослойка (0,05 км/с), продолжающаяся от слоя Голицына — Гейко мантии под Западно-Сибирской плитой. Указанная выше прослойка, выделяемая по долготным сечениям, связывает слой Голицына — Гейко под Волго-Уральской антеклизой с аналогичным слоем под Тимано-Печорской плитой и далее с восточной частью мантии под БПП. Подошва слоя сейсмологической литосферы под Тимано-Печорской плитой определяется глубиной 275 км.

Широтные сечения более детально показывают связь по скоростным характеристикам мантии под Тимано-Печорской и Западно-Сибирской плитами. Отмечается изменение глубины залегания подошвы сейсмологической литосферы при переходе скоростных мантийных характеристик под Западно-Сибирской плитой (200—225 км) к Тимано-Печорской плите (300 км). Особенностью низкоскоростного слоя Голицына — Гейко под Тимано-Печорской плитой является распространение высокоскоростного слоя со стороны аналогичного слоя под Западно-Сибирской плитой на запад до мантии под Тиманским кряжем, в результате чего уменьшается глубина залегания подошвы слоя сейсмологической литосферы. Такая картина наблюдается до мантии под южной окраиной Новоземельской плиты, после чего в целом мантийная скоростная структура под Новоземельской плитой и восточной частью Северо-Ба-

ренцевого бассейна становится стабильной (мощность скоростного слоя сейсмологической литосферы в пределах 50—325 км, слоя Голицына — Гейко — 325 ÷ 475 км, зоны раздела-1 — 475 ÷ 625 км). Скоростная характеристика для этой части мантии выдержана до юго-восточного окончания Свальбардской плиты (южнее архипелага Земля Франца-Иосифа). Севернее скоростные характеристики изменяются, и мантия под архипелагом Земля Франца-Иосифа характеризуется слоем сейсмологической литосферы в пределах 50—400 км, слоем Голицына — Гейко (400—525 км) и зоной раздела-1 (525—800 км). Широтные сечения подтверждают полученное по горизонтальным сечениям деление мантии под БПП на три части. Раздел, относящийся к мантии под прогибом Франц-Виктории по широтным сечениям соотносится с формированием в области северо-восточного окончания Северо-Баренцевого бассейна высокоскоростного наклонного слоя, простирающегося в мантии на запад до восточного окончания мантийной скоростной области под архипелагом Шпицберген. Южное ограничение указанного слоя определяется в мантии под северной границей Южно-Баренцевого бассейна. В мантии под западной частью БПП выделяются высокоскоростные наклонные слои со стороны Северной Атлантики (мантия под Норвежско-Гренландским трансформным разломом, WE 74°) с продолжением на восток до мантии под прогибом Нордкап, о-вом Медвежий и его окружением. Выход низких скоростей из средней мантии под о-вом Шпицберген определяет его раздел на две скоростные подобласти: восточную (низкоскоростную) и западную (высокоскоростную).

Схема расположения высокоскоростных наклонных слоев и дислокаций Ю. К. Щукина для объединенной скоростной мантийной области под ВЕП и БПП приведена на рис. 5, 6. Мантийная скоростная область под южной частью БПП определяется, в основном, спецификой скоростных характеристик Тимано-Печорской плиты. Наиболее характерно проявляется раздел Тимано-Печорской плиты, выделение восточной и западной части в шельфовой части и разделяющей их зоны. Западная часть соответствует мантии под Баренцевым морем до мантии под восточной половиной Южно-Баренцевой впадины. Мощность сейсмологической литосферы определяется в пределах 50—300 км, слоя Голицына — Гейко — 300 ÷ 600 км, зоны раздела-1 — 600 ÷ 750 км.

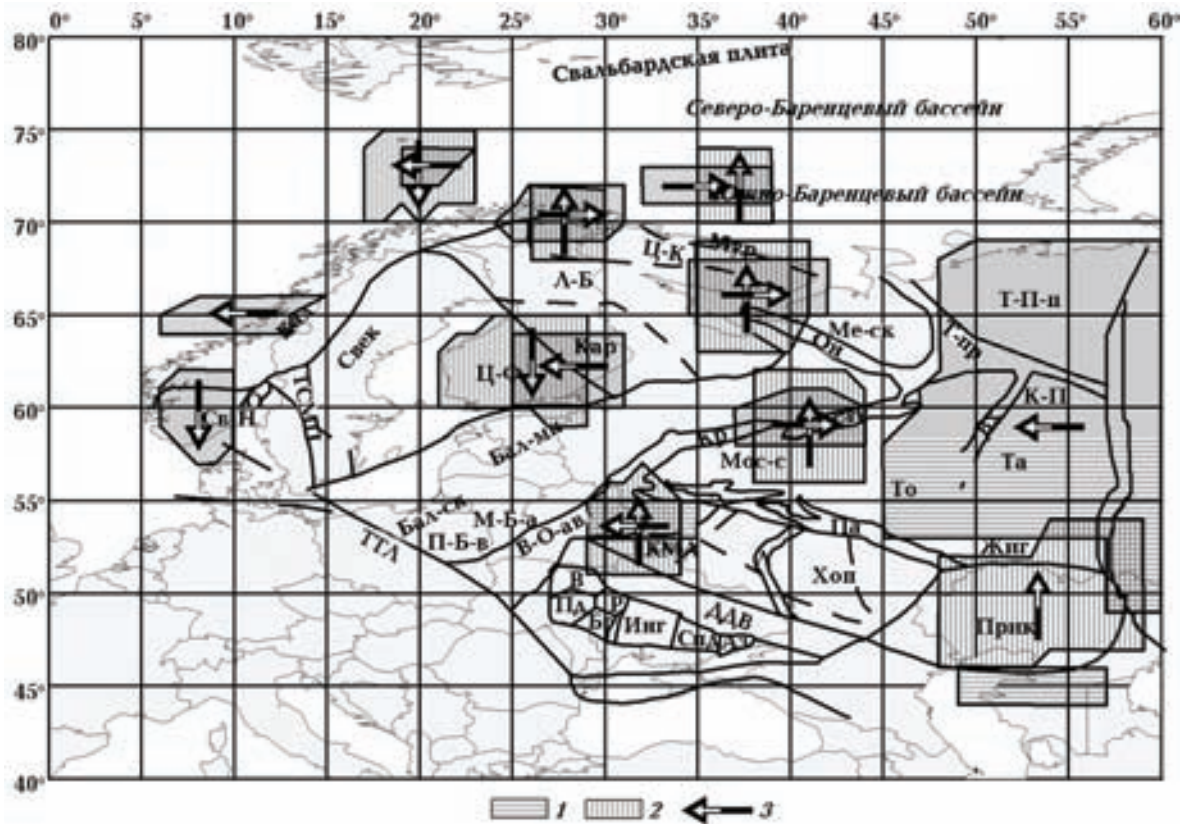


Рис. 5. Дислокации по Ю.К. Щукину: 1 — по долготным сечениям, 2 — по широтным, 3 — направление распространения. Условные обозначения те же, что и на рис. 1.

Скоростные характеристики мантии под прогибом Ольги и его окружением связываются с высокоскоростным увеличением зоны раздела-1 по сравнению с мантией как со стороны Северной Атлантики, так и со стороны мантии под Баренцевым морем (Тимано-Печорской плитой). На фоне скоростных характеристик западной части Тимано-Печорской плиты, приведенных выше, мантия под прогибом Ольги характеризуется слоем сейсмологической литосферы мощностью 50—425 км, слоем Голицына — Гейко — 425 ÷ 600 км и зоны раздела-1 — 600 ÷ 850 км. Указанная зона прослеживается на север до границы рассматриваемой области и является предельной для простираения с северо-востока высокоскоростного наклонного слоя. Центральная часть мантии под БПП ограничена на востоке мантией в районе под прогибом Франц-Виктории и его окружением на юге, включая мантию под Тимано-Печорской плитой. Мантия под этой подобластью характеризуется более низкими скоростями слоя Голицына — Гейко, более тонкой зоной раздела-1 и более

высокими скоростями сейсмологической литосферы по отношению к окружающим частям мантии под БПП. Так, сейсмологическая литосфера характеризуется невязками скоростей 0—0,15 км/с и глубиной залегания ее подошвы — 375 км. Мощность слоя Голицына — Гейко определяется глубиной 375—500 км, невязки скорости от 0 до -0,10 км/с на фоне 0 ÷ -0,20 км/с восточной части и 0 ÷ -0,45 км/с западной. Зона раздела-1 имеет кровлю на глубине 500 км и подошву на глубине ≥ 850 км. В слое сейсмологической литосферы на глубине 100—150 км выделяется распространение слоя с невязкой 0,025 км/с со стороны Северной Атлантики, а также распространение наклонного высокоскоростного слоя, начинающегося в мантии под восточной частью. Несколько трансформируясь, центральная часть наблюдается дальше на юг, вплоть до мантии под Скифской плитой.

Восточная часть мантии под БПП по широтным сечениям может быть разделена на две части: 1) мантию под Новоземельской и востоком Тимано-Печорской плиты; 2) ман-

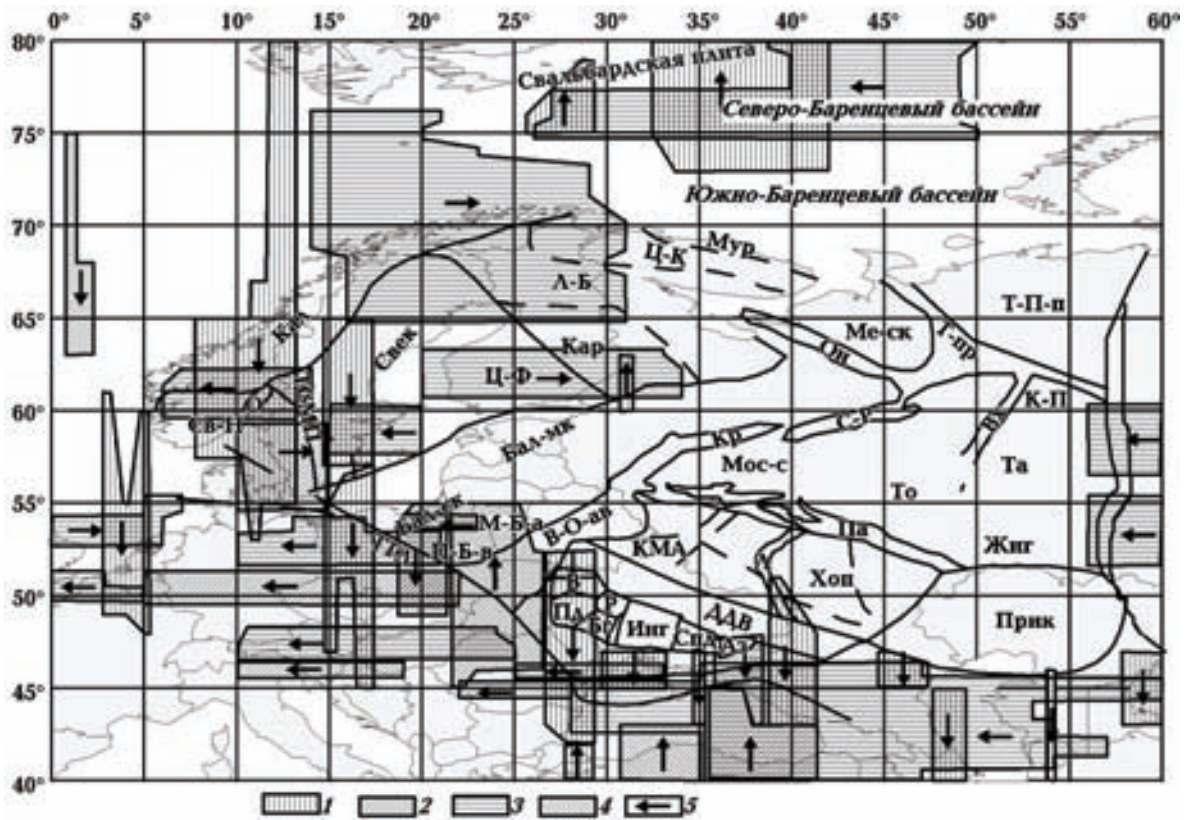


Рис. 6. Схема распространения наклонных слоев по долготным и широтным сечениям: 1, 2 — наклонный слой по долготным сечениям (1 — начало распространения с 50 км, 2 — глубже 50 км), 3, 4 — наклонный слой по широтным сечениям (3 — начало распространения с 50 км, 4 — глубже 50 км), 5 — направление распространения. Условные обозначения те же, что и на рис. 1.

тию под восточной частью Баренцевоморского бассейна (Восточно-Баренцевый бассейн). Слою сейсмологической литосферы Восточно-Баренцевого бассейна соответствуют невязки скорости 0—0,2 км/с и глубина залегания подошвы слоя — 325 км, слою Голицына — Гейко — глубина залегания 325—500 км, невязки от 0 до -0,025 км/с, зоне раздела-1 — глубина залегания 500—600 км, невязки 0—0,05 км/с. При переходе к мантийной скоростной области севернее Новоземельской плиты меняются скоростные параметры: глубина подошвы сейсмологической литосферы определяется как 400 км, при невязках скорости 0—0,15 км/с. Мощность слоя Голицына — Гейко изменяется в пределах 400—550 км при невязках от 0 до -0,3 км/с, мощность зоны раздела-1 — 550 ÷ 840 км при невязках 0—0,10 км/с. Долготные сечения согласуются с горизонтальными и широтными. Общей особенностью для всего объединенного региона являются высокие скорости в слое сейсмологической литосферы, низкоскоростной слой

Голицына — Гейко. По долготным сечениям выделяются дислокации Ю. К. Щукина и наклонные высокоскоростные слои. Определяется наклонный слой, распространяющийся в мантии под шельфом Баренцевого моря в сторону Свальбардской плиты в пределах восточной части БПП до глубины 400 км. Дислокации Ю. К. Щукина прослеживаются в области предполагаемого контакта между мантийной областью под Мезенской синеклизой и Тимано-Печорской плитой. Долготные сечения показывают, что по основным скоростным характеристикам мантия под объединенной областью определена в слое сейсмологической литосферы как высокоскоростная, в слое Голицына — Гейко как низкоскоростная и в зоне раздела-1 как высокоскоростная. В то же время отмечается скоростная структуризация. Слой сейсмологической литосферы под центральной частью БПП объединен по скоростным изолиниям невязок с аналогичным слоем под Московской и Мезенской синеклизами. По слою Голицына — Гейко об-

щей является часть, включающая мантию под Тимано-Печорской плитой и Баренцевоморским шельфом. В восточной части под БПП выделяется высокоскоростной слой в низкоскоростном слое Голицына — Гейко общий для Тимано-Печорской плиты и Волго-Уральской антеклизы. Можно предположить, что это следствие выхода низких скоростей из средней мантии под Тимано-Печорской плитой.

Сейсмическая литосфера под Тимано-Печорской плитой мощностью 275 км характеризуется более высокими скоростями (0,25 км/с), чем под Баренцевоморским шельфом и Новоземельской плитой (0,175 км/с) при глубине залегания подошвы слоя 325 км. Разделенный на части слой Голицына — Гейко определен в своей верхней части невязкой скорости $-0,075$ км/с, в нижней $-0,20$ км/с, в то время как невязка скорости под верхней частью Баренцевоморского шельфа $-0,025$ км/с, нижней $-0,05$ км/с. Высокоскоростная прослойка определяется невязкой скорости 0,05 км/с и характеризуется мощностью 50 км под Волго-Уральской антеклизой и Тимано-Печорской плитой и 100 км под Новоземельской плитой. Скоростные характеристики под Свальбардской плитой следующие: невязки скорости в слое сейсмологической литосферы определены в интервале $0—0,225$ км/с при глубине залегания подошвы 400 км, мощность слоя Голицына — Гейко — $400 \div 550$ км, невязки $-0,25$ км/с, невязка скорости зоны раздела $0,125$ км/с при глубине залегания подошвы более 850 км.

Учитывая использованную систему наблюдений, представленная скоростная модель мантии позволяет сделать следующие выводы.

1. По скоростным характеристикам на глубине 50—500 км мантия под ВЕП объединена с мантией под БПП.

2. В слое сейсмической литосферы мантия под объединенной областью ВПП и БПП характеризуется высокими скоростями, как и мантия под всей территорией Северной Евразии, за исключением южной половины Сибирской платформы.

3. Скоростные характеристики мантии под восточной частью объединенной области ВЕП и БПП на глубине 50—200 км испытывают влияние мантийной скоростной области под Западно-Сибирской плитой, а именно: скоростная область мантии под Западно-Сибирской плитой распространяется на мантийные скоростные области под Волго-Уральской антеклизой и восточной частью БПП.

4. На глубине 100—150 км выделяется высокоскоростная область, объединяющая восточную часть Скифской плиты, северную часть Туранской плиты и Центрально-Казахстанскую складчатую систему.

5. На глубине 200—300 км определяется скоростная граница между мантией под восточной частью ВЕП и Западно-Сибирской плитой. Граница проходит в мантии под Уральской складчатой системой, Туранской плитой до Челкарского прогиба. При этом мантийная граница проходит несколько восточнее Урала.

6. На глубине более 300 км мантия под Тимано-Печорской плитой является частью расширенной мантийной скоростной области под Западно-Сибирской плитой.

На глубине 300—325 км выделяются мантийные скоростные области раздела под территорией, объединяющей ВЕП и БПП, характеризующиеся высокими скоростями.

7. Выделены как наклонные высокоскоростные слои, присутствующие в мантии рассматриваемого региона, так и дислокации Ю.К. Щукина (см. рис. 5, 6).

Список литературы

Гейко В. С., Цветкова Т. А., Санникова Н. П., Ливанова Л. П., Гейко К. В. Региональная 3D Р-скоростная структура мантии северо-западной Евразии — I. Европа. 1 // Геофиз. журн. — 1998. — 20, № 3. — С. 67—91.

Гейко В. С., Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Региональная 3D Р-скоростная модель мантии Сарматии (юго-запад Восточно-Европейской платформы) // Геофиз. журн. — 2005. — 27, № 6. — С. 927—939.

Коган Л. И., Маловицкий Я. П., Мурзин Р. Р. Глубинное строение Восточно-Баренцевской мегавпадины по данным широкоугольного глубинного сейсмического профилирования // Геотектоника. — 2004. — № 3. — С. 79—94.

Строение литосферы российской части Баренц-региона / Под ред. Н.В. Шарова, Ф.П. Митрофанова, М.Л. Вербы, К. Гиллена. — Петрозаводск: Изд. КНЦ РАН, 2005. — 318 с.

- Цветкова Т. А., Шумлянская Л. П., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Сейсмоотомография Восточно-Европейской платформы: трехмерная P -скоростная модель мантии под Фенноскандией. Ч. I // Геофиз. журн. — 2009. — **31**, № 1. — С. 53—72.
- Цветкова Т. А., Шумлянская Л. П., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Сейсмоотомография Восточно-Европейской платформы: трехмерная P -скоростная модель мантии под Фенноскандией. Ч. II // Геофиз. журн. — 2010. — **32**, № 1. — С. 60—77.
- Хаин В. Е. Тектоника континентов и океанов. — Москва: Науч. мир, 2001. — 604 с.
- Bogdanova S. V., Pashkevich J. K., Gorbachev R., Orlyuk M. Riphean rifting and major Palaeoproterozoic crustal boundary in the basement of the East European craton: geology and geophysics // Tectonophysics. — 1996. — **269**. — P. 1—21.
- Geyko V.S. A general theory of the seismic travel-time tomography // Геофиз. журн. — 2004. — **26**, № 2. — С. 3—32.
- Levshin An., Shweitzer J., Weidle Chr., Shapiro N. M., Ritzwoller M. H. Surface wave tomography of the Barents sea and surrounding regions // Geophys. J. Int. — 2008. — **170**, № 1. — P. 441—459.
- Ritzmann O., Maercklin N., Faleide I., Bungum H., Mooney W. D., Detweiler Sh. T. A three dimensional geophysical model of the crust in the Barents sea region: model construction and basement characterization // Geophys. J. Int. — 2008. — **170**, № 1. — P. 417—435.