

УДК 550.334

СТРУКТУРА НИЗКОСКОРОСТНЫХ ОБЛАСТЕЙ В МАНТИИ СЕВЕРНОЙ ЕВРОПЫ

Т. А. Цветкова, И. В. Бугаенко, Л. Н. Заец

Институт геофизики им. С. И. Субботина Национальной академии наук Украины, Киев

Согласно полученной по методу Тейлорова приближения 3-d P-скоростной модели мантии Фенноскандинавского щита и ее окружения выделены области распространения низкоскоростной средней мантии в переходную зону. В пределах Кольско-Карельского мегаблока выделены Беломорский и Варангер мантийные домены, а также верхнемантийные домены Костомукши и Лапландский. В пределах Свеконорвежского мегаблока выделен домен Шеллефтео, Свеконорвежского мегаблока – субвертикальная мантийная колонка чередующихся повышенных и пониженных скоростей P-волн, соответствующая мантии грабена Осло. Согласно проведенному анализу общей скоростной характеристикой выделенных доменов являются области распространения низкоскоростной средней мантии в переходную зону, расслоенность верхней мантии и ее переходной зоны.

Ключевые слова: 3-d P-скоростная модель, мантия, домен, Фенноскандия.

T. O. Tsvetkova, I. V. Bugaienko, L. M. Zaiets. THE STRUCTURE OF LOW-VELOCITY ZONES IN THE MANTLE OF THE NORTHERN EUROPE

The areas of low-velocity middle mantle shift into the transition zone are distinguished according to 3-d P-velocity model of the Fennoscandian shield mantle and its surroundings using Taylor approximation method. Within the Kola-Karelia megablock there are the White Sea and Varanger mantle domains along with the Kostomuksha and Lapland upper mantle domains. Within the Svecofennian megablock there is the Shellefteo domain, and within the Sveconorwegian megablock – subvertical mantle column of altering high and low-velocity P-waves corresponding to superdeep mantle of the Oslo graben. Based on the conducted analysis the following general velocity features of the distinguished domains are defined: the areas of low-velocity middle mantle shift into the transition zone of the upper mantle, stratification of the upper mantle and its transition zone.

Keywords: 3-d P-velocity model, mantle, domain, Fennoscandia.

В работах [Цветкова и др., 2009, 2010] представлено 3-d P-скоростное строение мантии под Фенноскандией на глубинах до 850 км. Модель построена по методу Тейлорового приближения [Гейко, 1997; Geiko, 2004]. Детальные представления об исполь-

зованном методе представлены в работах [Гейко, Цветкова, 1989, 1993; Цветкова, 1996; Гейко и др., 1998; Цветкова и др., 2009]. Метод не зависит от выбора референтной модели и дает лучшее, чем классический метод Лаврентьева-Романова [Лаврентьев и др.,

1980], приближение нелинейности. Численная реализация метода Тейлорового приближения представлена в работах [Гейко, Цветкова, 1989; Цветкова, 1996; Гейко и др., 1998]. Как исходные данные использованы времена прихода первых вступлений Р-волн на станции мировой сети, представленные в бюллетенях ISC за период 1964–2006 годов.

В работе [Цветкова и др., 2009] показаны соотношения экспериментальных и теоретических годографов – сечений для исследуемой области. Согласно проведенному тестированию точность обращения годографов составляет 0,015 км/сек. Разрешающая способность метода сейсмической томографии, согласно положениям геометрической оптики, составляет $0,5^\circ \times 0,5^\circ \times 50$ км до глубины 1000 км включительно и $1,0^\circ \times 1,0^\circ \times 100$ км после 1000 км. Отметим, что результатом решения задачи сейсмической томографии является модель, оптимальная в пределах принятых физико-математических представлений. Последние включают: аксиоматику, теорию метода, принятую параметризацию среды, численные методы решения задачи, аппроксимирующие методы, графические методы и т. д.

Модель мантии представляется в виде горизонтальных сечений в истинных скоростях с шагом 25 км по глубине, вертикальные сечения с шагом 1° представлены в невязках скорости (δ) относительно обобщенной модели средней скорости:

$$\delta = \text{Vист} - \text{Vaver}$$

Для трехмерной скоростной модели обобщенная модель средняя скорость – глубина $\{V_{\min}(z), V_{\max}(z), V_{\text{aver}}(z)\}$ представлена в табл. 1. Невязки скорости (δ_k) представлены с шагом $\pm 0,025$ км/сек.

Тектоническое строение рассматриваемого региона представлено на рис. 1, согласно [Хайн, 2001]. По скоростным характеристикам мантия под Фенноскандинавским щитом относится к мантии по стабильному типу Ю. М. и Д. Ю. Пушаровских [Пушаровский Ю. М., Пушаровский Д. Ю., 2010]. Следовательно, относительно принятой референтной модели, верхняя мантия (гр.М – 410 км) характеризуется повышенными скоростями, зона Голицына-Гейко (ЗГГ – скоростная характеристика переходной зоны верхней мантии) (410–650 км) – пониженными скоростями, зона раздела-1 (650–850 км) – повышенными скоростями, средняя мантия (850–1700 км) – пониженными скоростями. Как отмечалось выше, граница между верхней мантией, ЗГГ, зоной раздела-1 и средней мантией определяется нулевой изолинией невязок скорости (δ).

Таблица 1. Референтные скорости

Глубина, км	Vaver, км/сек	Глубина, км	Vaver, км/сек
50	7,93	600	10,18
75	8,011	625	10,322
100	8,082	650	10,466
125	8,139	675	10,585
150	8,19	700	10,69
175	8,241	725	10,783
200	8,296	750	10,866
225	8,356	775	10,94
250	8,422	800	11,01
275	8,498	825	11,074
300	8,584	850	11,134
325	8,682	875	11,191
350	8,794	900	11,244
375	8,918	925	11,295
400	9,053	950	11,343
425	9,177	975	11,39
450	9,29	1000	11,435
475	9,4	1025	11,478
500	9,522	1050	11,519
525	9,661	1075	11,56
550	9,829	1100	11,599
575	10,007	1125	11,637

В мантии под Фенноскандией выделяются скоростные области, основной особенностью которых является распространение низкоскоростного субвертикального слоя из средней мантии через зону раздела-1 в ЗГГ, и, как следствие этого, специфика скоростной расслоенности верхней мантии и ЗГГ. Выходы пониженных скоростей из нижней, средней мантии в верхнюю, возможно, вплоть до коры включительно с последующим их "растеканием" будем называть доменами (ФД).

Мегаблоки Фенноскандинавского щита, скоростное строение мантии под которыми связано с выходом пониженных скоростей из средней мантии в верхнюю, следующие: Кольско-Карельский, Свекофеннский (рис. 2, а). Полученная модель средних скоростей для глубин 650–850 км (рис. 2, б) четко показывает выходы пониженных скоростей как низкоскоростные аномалии, и выделяет для мантии под Фенноскандинавским щитом области: Лапландско-Беломорского подвижного пояса (Беломорский домен), Центрально-Кольский блок (Варангер домен) Кольско-Карельского мегаблока, Свекофеннский мегаблок (Шеллефтео домен).

1. Кольско-Карельский мегаблок

Под указанным мегаблоком выделяются две скоростные области, характеризующиеся распространением из средней мантии вверх пониженных скоростей. Поскольку по техническим причинам мы не можем представить графические изображения всех широтных и долготных сечений исследуемых областей, то для каждого ФД будут детально представлены по одному широтному и долготному сечению и общие характеристики остальных.

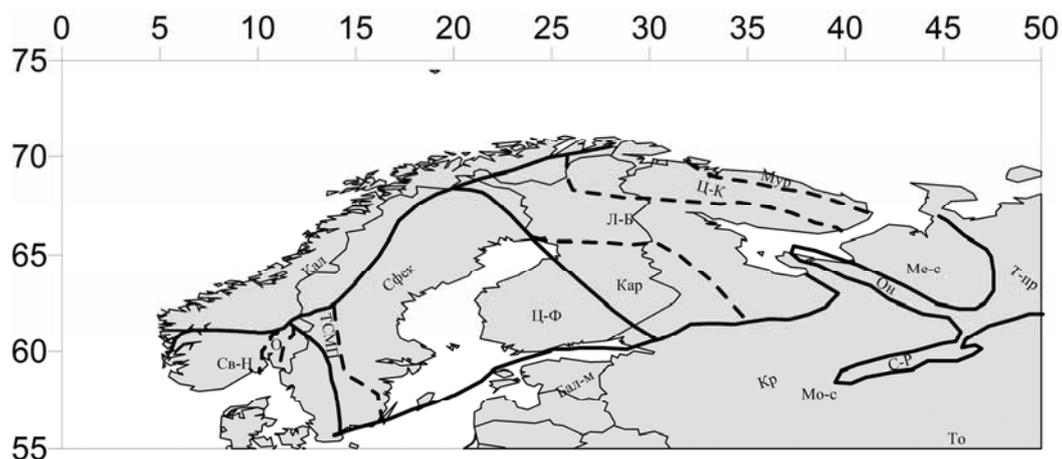
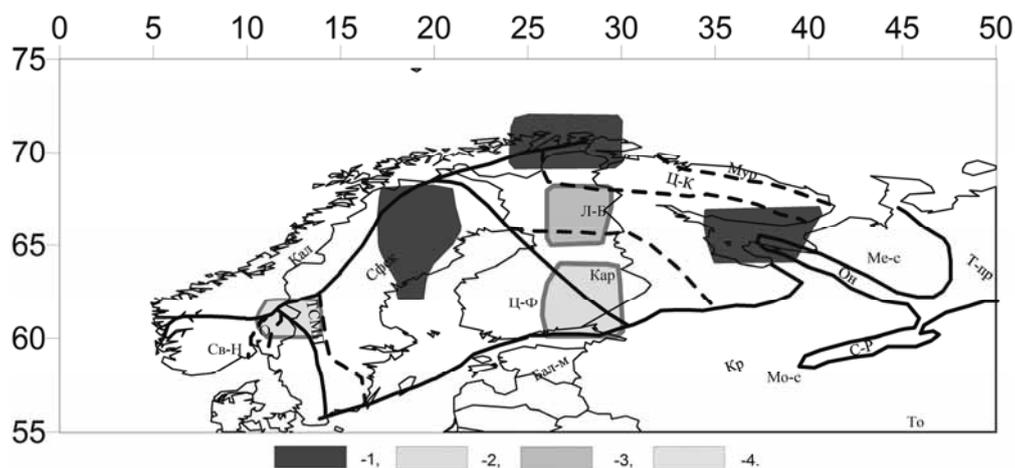
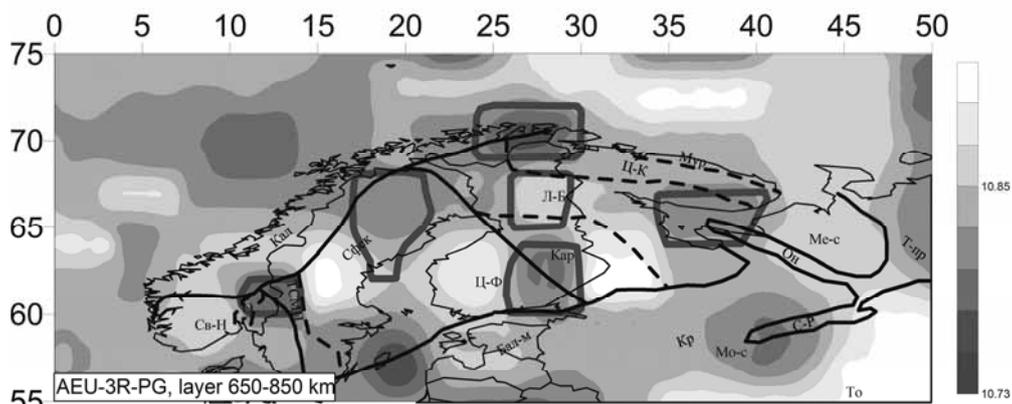


Рис. 1. Тектоническая схема Восточно-Европейской платформы по В. Е. Хаину [Хаин, 2001] (обобщенно)

Условные обозначения: Бал-м – Балтийская моноклинал, Кал – Скандинавские каледониды, Кар – Карельский блок Кольско-Карельского мегаблока, Кр – Крестовский авлаоген, Л-Б – Лапландско-Беломорский гранит-гнейсовый пояс Кольско-Беломорского мегаблока, Мо-с – Московская синеклиза, Ме-с – Мезенская синеклиза, Мур – Мурманский блок Кольско-Карельского мегаблока, О – грабен Осло (Свеконорвежский мегаблок), Он – Онежский грабен (Кольско-Карельский мегаблок), С-Р – Средне-Русский авлаоген, Св-Н – Свеконорвежский мегаблок, Свек – Свекофеннский мегаблок, ТСМП – Трансскандинавский магматический пояс, Ц-К – Центрально-Кольский блок (Кольско-Карельский мегаблок), Ц-Ф – Центральный Финляндский массив (Свекофеннский мегаблок)



А)



Б)

Рис. 2. А) Области низкоскоростных выходов из средней мантии: 1 – Беломорский, Варангер, Шеллефтео домены, 2 – Костомукша, 3 – Лапландский верхнемантийный домен, 4 – мантийная колонка грабена Осло; Б) Осредненное горизонтальное скоростное сечение слоя мантии на глубине 650–850 км

1.1. Беломорский домен (рис. 3 (64° с.ш., 66° с.ш.), рис. 4 (37° в.д.))

Первая скоростная область определяется координатами (64–68° с.ш.) × (35–40° в.д.) и относится к мантии под юго-востоком Лапландско-Беломорского гранулит-гнейсового пояса (Беломорская система грабен). Особенностью скоростного строения рассматриваемой области является распространение низкоскоростной области из средней мантии через зону раздела-1 в ЗГГ верхней мантии, с последующим выделением, начиная от подошвы верхней мантии, области высокоскоростных невязок скорости, ограниченных выпуклыми вверх изолиниями. Определим эту область как центральную часть Беломорского ФД.

Центральная часть Беломорского ФД рассматривается в указанном выше интервале. Для сечения 64° с.ш. (рис. 3) в пределах рассматриваемой области δ изменяются, начиная от $-0,025$ км/сек на глубине 850 км до $-0,075$ км/сек на глубине 600 км, что уже относится к ЗГГ. Отсюда для данной области отсутствует зона раздела-1. Кровля ЗГГ приподнята до глубины 300 км, изолинии невязок скорости изменяются в интервале от $-0,025$ км/сек на глубине 600 км до $-0,25$ км/сек в линзовидной низкоскоростной аномалии на глубинах 525–550 км. Линзовидная высокоскоростная аномалия, характеризующаяся значением $\delta = 0,025$ км/сек, выделяется на глубинах 400–425 км. На глубине 375 км отмечены две небольшие низкоскоростные аномалии, которым соответствует $\delta = 0,05$ км/сек. Кровля ЗГГ в центральной части приподнята вверх (выпуклая вверх), и ее глубина залегания определяется как 300 км на фоне 325 км восточного окружения и 375 км западного. Верхняя мантия характеризуется повышенными значениями $\delta = (0,00-0,225)$ км/сек. Невязки скорости увеличиваются начиная от подошвы верхней мантии вверх, к коре. При этом унаследованное от кровли ЗГГ, характерное выпуклое поднятие изолиний определяется до глубины 175 км, $\delta = 0,10$ км/сек. Максимальное значение $\delta = 0,225$ км/сек определяется на глубине 50 км. Отсюда основные скоростные характеристики центральной части:

- 1) распространение пониженных скоростей из средней мантии в вышележащие слои;
- 2) расслоенность ЗГГ и верхней мантии, связанная с вышеуказанным процессом;
- 3) в пределах ЗГГ выделяются как высокоскоростные, так и низкоскоростные аномалии.

Область растекания (ОР). Под областью "растекания" будем понимать область распространения низкоскоростной ЗГГ повышенной мощности, связанной с выходом низкоскорост-

ной аномалии из средней мантии в ЗГГ и, как правило, соответствие этой области зоны раздела-1. Для рассматриваемого сечения 64° с.ш. (см. рис. 3) западная ОР определяется до Карельского массива (29° в.д.) включительно. На востоке ОР проходит под Мезенской синеклизой до ее границы под западной границей Печорской синеклизы (48° в.д.). И западная и восточная части ОР характеризуются выделением высокоскоростной зоны раздела-1, глубина залегания подошвы которой под Карельским блоком уходит за пределы рассматриваемых глубин (1100 км), в мантии под Мезенской синеклизой определяется на 800 км. Максимальные для обеих частей $\delta = 0,05$ км/сек.

Восточная часть. Восточная часть ОР определяется как мантия по стабильному типу. Подошва верхней мантии под Мезенской синеклизой опущена на 100 км по отношению к пограничной к ней подошвы верхней мантии под Печорской синеклизой. По отношению к центральной части области Беломорского домена – на 50 км, и выделяется на глубине 325 км. Значения δ изменяются от 0,0 км/сек на подошве верхней мантии до 0,25 км/сек на кровле. По скоростным характеристикам ЗГГ может быть разделена на два слоя. Первый, более низкоскоростной, определяется на глубинах 425–600 км, $\delta = (0,00 - -0,30)$ км/сек. Минимальное значение δ отвечает глубине 525 км. Второй слой определен на глубинах 325–425 км, менее дифференцирован по значениям δ : 0,00 км/сек на глубине залегания кровли ЗГГ, $-0,05$ км/сек на глубине 425 км – границе раздела с первым слоем.

Западная часть. Западная часть ОР определяется более ярко выраженными скоростными неоднородностями. Как уже отмечалось, глубина залегания подошвы высокоскоростной зоны раздела-1 превышает глубину 850 км, при изменении δ от 0,00 до 0,05 км/сек, глубина залегания подошвы ЗГГ – 625 км, глубина залегания кровли – 375 км. По скоростным характеристикам ЗГГ, так же, как и восточная часть ОР, делится на два слоя. В целом первому слою соответствует сгущение изолиний невязок скорости в области подошвы ЗГГ, изолинии второго слоя более разряжены. Первый слой (нижний) определен на глубинах 425–625 км, характеризуется изменением δ в интервале 0,00– $-0,35$ км/сек. Минимальное значение $\delta = -0,35$ км/сек достигается на глубинах 525–550 км. Раздел между первым и вторым слоем определен $\delta = -0,05$ км/сек и проходит по соответствующей изолинии на глубине 425 км. Второй слой определяется на глубине 375–425 км, $\delta = (0,00-0,05)$ км/сек.

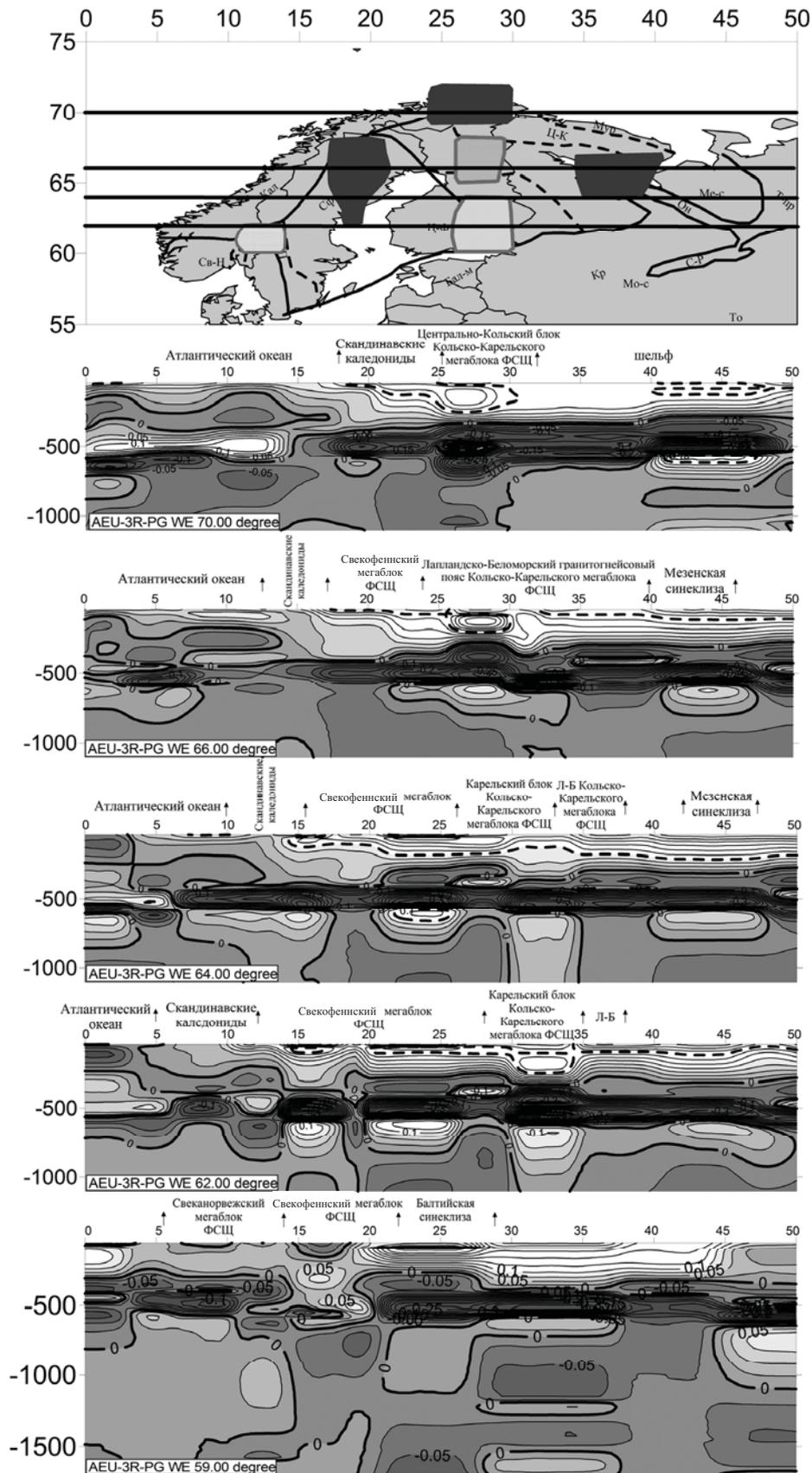


Рис. 3. Широтные сечения 70°, 66°, 64°, 62° и 59° с.ш. трехмерной Р-скоростной модели мантии, пространственное расположение которых представлено на тектонической схеме

Верхняя мантия определена на глубинах 50–375 км. По скоростным характеристикам, согласно геометрии изолиний невязок, она разделена на две части на глубине 250 км изолинией $\delta = 0,075$ км/сек. Нижняя часть характеризуется выпуклостью вниз до глубины залегания кровли ЗГГ (375 км), верхняя часть – выпуклостью вверх, достигая 75 км. Вместе обе части образуют линзообразную структуру. В верхней части на глубине 75 км значения $\delta = 0,15$ км/сек, в нижней части – $\delta = 0,025$ км/сек.

Сравнения западной и восточной областей ОР показывает различие в их скоростных характеристиках для верхней мантии и подобие для ЗГГ и зоны раздела-1. Это проявляется в близости залегания по глубине подошвы ЗГГ, существовании зоны раздела-1 с одинаковыми скоростными характеристиками, но различной мощностью, раздел ЗГГ на два слоя: с более низкими значениями невязок скорости в нижней части и приподнятой верхней частью, которая характеризуется более высокими по отношению к нижней части невязками скорости. Приподнятость верхней части ЗГГ, согласно поведению невязок скорости, может быть связана с ее поднятием в центральной части. Согласно скоростным характеристикам верхней мантии для изолиний невязок скорости ОР характерно погружение относительно поднятия последних в центральной части (см. рис. 3, (64° с.ш., 66° с.ш.)). Если в восточной части такое погружение сохраняется в интервале глубин 50–200 км, то глубже наблюдается выполаживание изолиний невязок скорости, то в западной части погружающиеся (выпуклые вниз) изолинии на глубинах 200–375 км сменяются поднимающимися (выпуклыми вверх) на глубинах 50–200 км и образуют линзообразную структуру. Наблюдающаяся разница в скоростном строении подчеркивает гетерогенность рассматриваемых структур и может быть связана как с выходом из средней мантии, дальнейшим распространением и послонной инверсией низких скоростей в связи с переходом в верхнюю мантию, так и последующим влиянием окружающих структур. Распространение ОР на запад ограничивается выступом низких скоростей из средней мантии вверх до глубины 600 км с последующим поднятием глубин залегания кровли и подошвы вышележащих слоев и формированием подобласти повышенной расслоенности мантии в пределах указанного выхода (24 – 29° в.д.).

Для 65 – 67° с.ш., соответствующих Беломорскому ФД, в целом сохраняются выделенные выше скоростные характеристики мантии (незначительно может варьировать глубина залегания выделенных слоев и значения невязки

скорости). Это связано с тем, что данные сечения проходят ФД через различные его участки (центральные и ОР).

Для широтных сечений Беломорского ФД характерны четкие структурные характеристики. К ним можно отнести:

1. Раздел области на три части: центральную, восточную и западную.

2. Основной скоростной характеристикой центральной части является выход пониженных скоростей из средней мантии в ЗГГ. Как следствие этого, подъем вверх кровли ЗГГ и выделение в верхней мантии, прилегающей к подошве высокоскоростной области, ограниченной выпуклой вверх изолинией невязок скорости до глубин 175 км (64° с.ш.), 200 км (65 – 66° с.ш.), 250 км (67° с.ш.).

3. Раздел ЗГГ центральной области на три части. Определяется наиболее низкоскоростная нижняя часть на глубинах до 475 ± 25 км, учитывая связь с низкоскоростной средней мантией. Второй слой, высокоскоростной, определен на глубине 425 – 475 км. Третий слой, низкоскоростной, определен на глубинах 300 – 425 км. Верхняя мантия характеризуется в целом как высокоскоростная, по характеру поведения невязок скорости делится на две части. Для нижней части характерна выпуклость вверх изолиний невязок скорости. Граница раздела определена на глубине 200 ± 50 км изолинией $0,10$ км/сек.

4. Выделяются две ОР: восточная, относящаяся к мантии под Мезенской синеклизой, и западная, Карельская, – к мантии под Карельским массивом. В ОР выделяется зона раздела-1, сохраняется деление ЗГГ, приподнятость его кровли и ее распространение вниз, как для западной части ОР, так и для восточной.

Северная ОР. Область растекания центральной части на север включает мантию под восточной частью Мурманского блока и далее до мантии под границей с Тимано-Печорской плитой в интервале 68 – 71° с.ш. (рис. 4 (сечение 37° в.д.)).

В северной части ОР выделяется зона раздела-1. Подошва ее определяется на глубинах более 800 км, глубина залегания кровли от 700 до 600 км. ЗГГ делится на две части. Кровля нижней части определена на глубине 450 км, верхний слой определяется на глубинах (300 – 350 км) – 450 км. Для нижнего слоя минимальная $\delta = -0,20$ км/сек, для верхнего – $-0,125$ км/сек. Основная часть верхней мантии представлена областью высокоскоростных невязок скорости, ограниченными сверху выпуклой вниз изолинией $\delta = 0,125$ км/сек, с прогибом глубины залегания кровли этого слоя от 200 до 250 км. Следует отметить постепенное выравнивание подошвы и кровли ЗГГ, а также

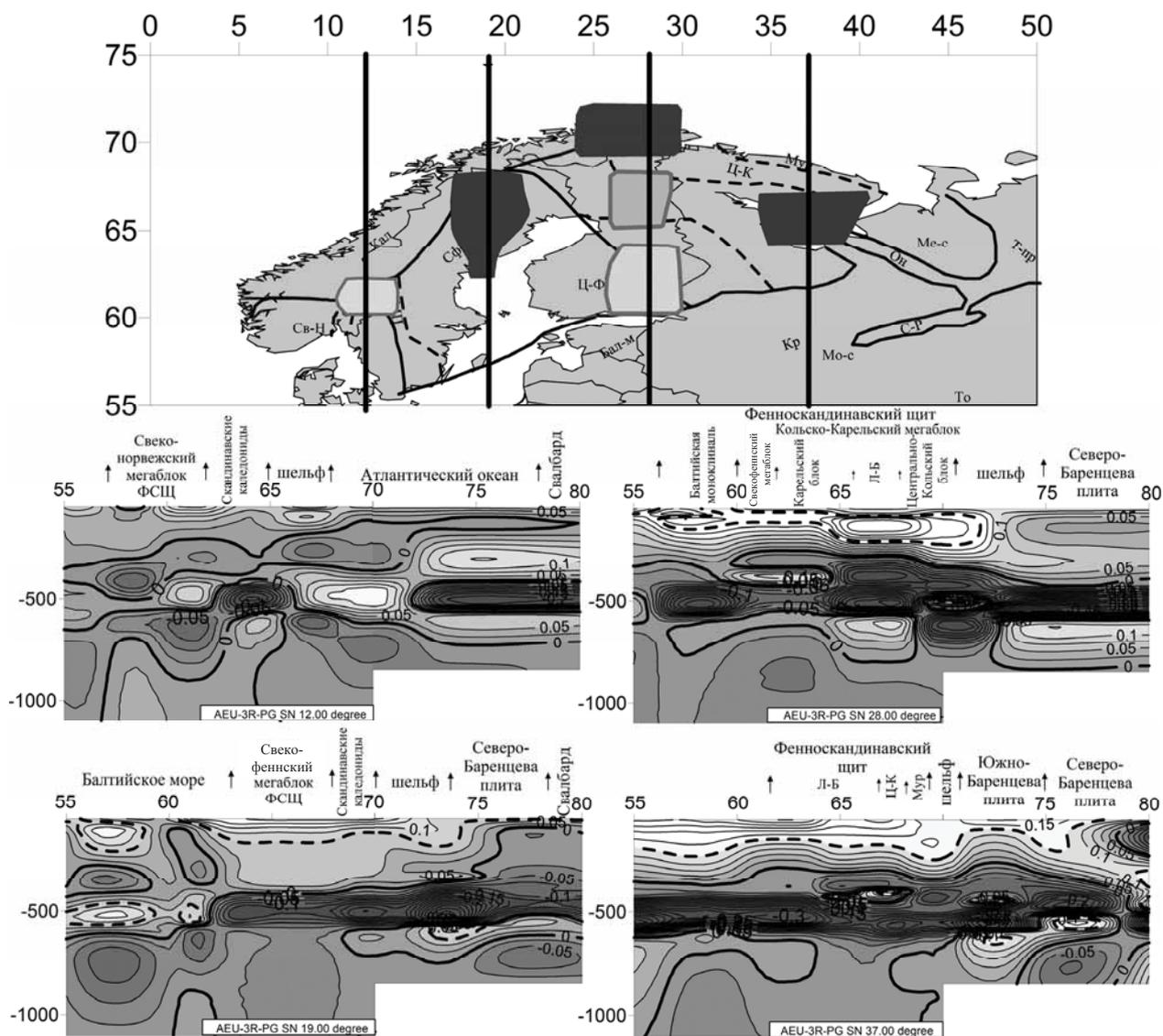


Рис. 4. Долготные сечения 12°, 19°, 28° и 37° в.д. трехмерной P-скоростной модели мантии, пространственное расположение которых представлено на тектонической схеме

изолиний невязок в верхней мантии, от центральной части на север в сторону мантии под Баренцевоморским шельфом.

Южная ОР. В южной части ОР (35–40° в.д.) × (60–63° с.ш.) выделяется высокоскоростная зона раздела-1: для 35° в.д. на глубинах 600–900 км, 36–40° в.д. на 600–800 км. Для 38–40° в.д. южная ОР по характеристикам невязок скорости относится к расширенной области распространения низкоскоростной средней мантии непосредственно до ЗГГ с последующим проявлением области выхода низкоскоростных невязок в ЗГГ. ЗГГ для южной части ОР в пределах сечений 35–37° в.д. определяется на глубинах 600–650 км для подошвы и на глубинах 300–400 км для кровли. При продвижении на юг кровля зоны испытывает погружение, в то время как для подошвы отмеча-

ется поднятие. ЗГГ делится на две части. Основной (нижний) слой определяется на глубинах 600–400 км, характеризуется низкими δ в пределах 0,00 – -0,25 км/сек. Второй слой определяется на глубинах 300–400 км, кровля его погружается на юг от 300 до 400 км, $\delta = (0,00 – -0,025)$ км/сек. Верхняя мантия по характеру распространения невязок скорости делится на две части. В нижней части отмечается приподнятость изолиний невязок скорости до глубины 100 км, $\delta = (0,00 – 0,15)$ км/сек. В верхней части $\delta = (0,015–0,225)$ км/сек в интервале 50–100 км. Следует отметить, что область наибольшего поднятия (100 км) соответствует сечениям 62–63° с.ш.

В сечениях 38–40° в.д. приведенные выше скоростные характеристики сохраняются для ЗГГ и верхней мантии. Как уже отмечалось,

в этом интервале (мантия под Балтийской моноклиналию) зона раздела-1 выделяется как высокоскоростная аномалия на глубинах 600–800 км на фоне общего низкоскоростного слоя средней мантии, распространяющегося до ЗГГ. Следует отметить, что для всей рассматриваемой области выхода низкоскоростных невязок из средней мантии до ЗГГ включительно и распространения области их влияния наиболее высокое поднятие по верхней мантии до 100 км определяется в южной зоне ОР, граничащей с центральной зоной (62–63° с.ш.).

Анализ скоростных характеристик мантийной области Беломорского ФД показывает, что основными особенностями являются: выход пониженных скоростей из средней мантии в ЗГГ с сохранением следов прохождения в верхней мантии и, как следствие, расслоенность ЗГГ и верхней мантии. Общая схема расслоенности мантийной области Беломорского ФД приведена в табл. 2.

1.2. Варангер домен (рис. 3 (сечение 70° с.ш.), рис. 4 (сечение 28° в.д.))

Следующим доменом, относящимся к Кольско-Карельскому мегаблоку, является область сочленения Восточно-Европейской платформы (Гранулитовый массив Центрально-Кольского блока), Скандинавских каледонид и Баренцево-морской плиты (бассейн Норд-Капп). Центральная часть области определяется в пределах (69–72° с.ш.) × (25–30° в.д.). Особенностью данной области является присутствие зоны раздела-1 на восток от 30° в.д. для восточной части ОР и отсутствие ее для западной части ОР.

Центральная область. На широтном сечении 70° с.ш. на фоне нулевой невязки скорости выделяется выход из низкоскоростной средней мантии, ограниченный $\delta = -0,025$ км/сек. Следует отметить его наклонную конфигурацию в средней мантии, имеющую восточное направление. На глубинах 575–750 км выделяется аномалия пониженной скорости, характеризующаяся $\delta = (-0,05 -$

$-0,225)$ км/сек. В ЗГГ на глубинах 475–525 км отмечается сгущение изолиний. Высокоскоростной слой на глубинах 475 км – (550–525 км) характеризуется $\delta = (0,00-0,25)$ км/сек. Следующий слой низкоскоростной, минимальная $\delta = -0,15$ км/сек. Кровля ЗГГ залегает на глубине 325 км. В интервале глубин 325–375 км отмечается сгущение изолиний невязок скорости и выпуклость их вверх. Верхняя мантия рассматриваемой области характеризуется высокими скоростями. До глубины 225 км изолинии невязок скорости обращены выпуклостью вверх, $\delta = (0,00 - -0,125)$ км/сек. На глубинах 75–200 км отмечается высокоскоростная аномалия, $\delta = (0,150-0,20)$ км/сек.

Восточная часть ОР определяется в интервале 30–40° в.д. и проходит в мантии под Центрально-Кольским и Мурманским блоками Кольско-Карельского мегаблока, южной окраиной Баренцево-морской плиты до Тимано-Печорской плиты. Мантии под указанной областью соответствует высокоскоростная зона раздела-1 на глубинах от 650 до 900 км. ЗГГ определена на глубинах 350–675 км. Ей соответствуют три слоя. Первый слой (на глубинах 500–675 км) характеризуется изменением δ в пределах 0,00 – $-0,20$ км/сек. Минимальная δ достигается на глубине 550 км. Второй слой определяется на глубинах 450–500 км изолинией $\delta = -0,10$ км/сек. Третьему слою соответствуют глубины 350–450 км и $\delta = (0,00 - -0,100)$ км/сек. Верхняя мантия высокоскоростная, глубина залегания подошвы соответствует 350 км. От подошвы до глубины 225 км изолинии невязок выположены ($\delta = (0,00 - 0,125)$ км/сек). В интервале 50–225 км δ не изменяется и соответствует 0,125 км/сек.

В пределах 69° с.ш., 71° с.ш. и 72° с.ш. восточная часть ОР сохраняет присутствие зоны раздела-1, трехслойность ЗГГ. По 71° с.ш. отмечается подъем изолиний δ на глубинах 150–300 км с их изменением в интервале 0,00–0,125 км/сек. В интервале 50–150 км

Таблица 2. Расслоенность мантийной области Беломорского домена

Беломорский домен	Координаты	Верхняя мантия, слои, км	ЗГГ, слои, км	Зона раздела-1, слои, км
Центральная область	64–68° с.ш. 35–40° в.д.	50–(200 ± 50) (200 ± 50)–300	300–(425 ± 25) (425 ± 25)–475 475–600	Нет
Северная ОР	68–71° с.ш. 35–40° с.ш.	50–(200 ÷ 250) (200 ÷ 250)–(300 ÷ 350)	(300 ÷ 350) – 450 450–(600 ÷ 700)	(600 ÷ 700) – ≥ 800
Южная ОР	60–63° с.ш. 35–40° в.д.	50–100 100–300	300–400 400–600	600–(800 ÷ 900)
Восточная ОР	64–68° с.ш. 40–48° в.д.	50–(200 ÷ 225) (200 ÷ 225)–325	325–425 425–575	575–800
Западная ОР	64–68° с.ш. 29–35 в.д.	50–250 250–(300 ÷ 375)	(300 ÷ 375)–425 425–475 475–625	625–(800 ÷ 850)

$\delta = 0,125$ км/сек остаются постоянными. В пределах 72° с.ш., как для восточной, так и для западной частей ОР, выделяется зона раздела-1 в интервале глубин 550–750 км для западной части и 550–850 км для восточной. Для западной части значения $\delta = (0,00-0,05)$ км/сек и для восточной части $\delta = (0,00-0,125)$ км/сек.

Западная часть ОР определяется интервалом от 25° в.д. до 14° в.д. и проходит в мантии под Лапландско-Беломорским поясом, Скандинавскими каледонидами, доходит до зоны разломов Сенья Лафотенского бассейна Атлантического океана. По скоростным характеристикам, как отмечалось выше, зона раздела-1 не выделяется. На глубинах 600–1100 км ОР характеризуется изменениями $\delta = (0,0 - -0,25)$ км/сек. В области, которая могла бы соответствовать зоне раздела-1, выделяется высокоскоростная аномалия на глубинах 575–725 км, $\delta = (0,00-0,025)$ км/сек. Подошва ЗГГ определяется на глубине 575 км, кровля зоны опускается к западу, изменяясь по глубине от 350 км на восточном окончании до 400 км на западном. Отмечается сгущение изолиний невязок по кровле и подошве зоны. Изолинии δ изменяются в пределах: 0,00 км/сек на кровле зоны, $-0,025$ км/сек на подошве зоны, минимальная $\delta = -0,20$ км/сек достигается на глубине 500 км. Верхняя мантия – высокоскоростная, определяется наклонно распространяющимися изолиниями невязок начиная от глубины 50 км под трансформным разломом Сенья до подошвы верхней мантии центральной части, связанной с распространением низких скоростей из средней мантии до ЗГГ. В результате можно отметить формирование высокоскоростного наклонного слоя, распространяющегося от трансформного разлома Сенья до мантии под Гранулитовым массивом Центрально-Кольского блока Кольско-Карельского мегаблока.

Основные черты, характерные для широтных сечений 69° с.ш., 71° с.ш., 72° с.ш.:

1. Сохраняется наклонный выход из низкоскоростной средней мантии в ЗГГ, характеризующийся изолинией $\delta = -0,025$ км/сек. Отмечается постепенный переход высокоскоростной аномалии на глубинах зоны раздела-1 в зону раздела-1 (72° с.ш.) на глубинах 575–750 км.

2. Проявляются три слоя ЗГГ за счет более четкого выделения высокоскоростного второго слоя на глубинах 475–550 км, характеризующегося изменением $\delta = (0,00-0,15)$ км/сек для сечения 69° с.ш., $(0,00-0,175)$ км/сек для сечения 71° с.ш. На глубинах 525–500 км по 72° с.ш. высокоскоростной слой слабо выражен и характеризуется $\delta = (0,00-0,075)$ км/сек. Кровля ЗГГ определена на глубине 350 км.

3. В верхней мантии западной и центральной областях растекания ($70^\circ-71^\circ$ с.ш.) выделяется высокоскоростной наклонный слой, распространяющийся до глубины 250 км в мантии под бассейном Норд-Капп.

Северная ОР ограничивается влиянием проявления процессов в мантии Северо-Баренцевой плиты (75° с.ш.). Область характеризуется присутствием высокоскоростной на глубинах 600–750 км зоны раздела-1, интервал изменения $\delta = (0,00-0,125)$ км/сек (для $25^\circ, 26^\circ, 29^\circ$ в.д.) и $\delta = (0,00-0,10)$ км/сек (для $27^\circ, 28^\circ$ в.д.). ЗГГ определяется как низкоскоростная, с резким сгущением изолиний невязок скорости в области подошвы. Глубина залегания подошвы ЗГГ 600 км. В интервале $25-26^\circ$ в.д. кровля ЗГГ субгоризонтальна и выделяется на глубине 400 км. В пределах $27-30^\circ$ в.д. кровля испытывает наклон с юга на север. Глубина залегания кровли изменяется от 300 км, на контакте с центральной областью, до 400 км на северной оконечности, что может быть объяснено усиливающимся влиянием мантии со стороны Северо-Баренцевой плиты. В сечениях $26-27^\circ$ в.д. $\delta = (0,00 - -0,40)$ км/сек, в сечениях $25^\circ, 28-30^\circ$ в.д. $\delta = (0,00 - -0,45)$ км/сек.

Южная ОР соответствует мантии под Центрально-Кольским блоком, Лапландско-Беломорским подвижным поясом и Карельским блоком Кольско-Карельского мегаблока. Область распространения ограничивается поднятием кровли средней мантии под Центрально-Финляндским блоком Свекофеннского мегаблока Фенноскандинавского щита ($62-63^\circ$ с.ш.) Поднятие средней мантии соотносится с областью распространения выхода из средней мантии, изменяет геометрию подошвы зоны раздела-1 и приводит к становлению верхнемантийного домена, представленного чередованием аномалий повышенных и пониженных изолиний невязок скорости, расширению ЗГГ с поднятием кровли ЗГГ до 250 км и разделу высокоскоростной верхней мантии на два слоя. Нижний слой верхней мантии связывается со сгущением изолиний подошвы верхней мантии – формированием прогибания вниз кровли ЗГГ в северном направлении в сторону центральной области и далее до северной области растекания и мантии под шельфом Баренцева моря.

Для южной ОР зона раздела-1 в сечении 25° в.д. определена на глубинах 600–700 км, $\delta = (0,00 - -0,025)$ км/сек, в сечении 26° в.д. на глубинах 750–600 км, $\delta = (0,00 - -0,05)$ км/сек, в сечениях $27-30^\circ$ в.д. на глубинах 600–800 км, $\delta = (0,00 - -0,075)$ км/сек. ЗГГ рассматриваемой области – двухслойная. Нижнему слою

соответствуют глубины 450–600 км. Слой характеризуется более низкими δ по отношению к верхнему слою, а именно: для 25° в.д. –0,20 км/сек, для 26° в.д. –0,25 км/сек, для 27–30° в.д. –0,30 км/сек. Верхняя часть ЗГГ отсутствует в районе 25° в.д. Кровля верхнего слоя определена: на глубинах 300 км для 26–28° в.д., 275 км для 29° в.д. и 350 км для 30° в.д. Невязки скорости определены для 26° в.д. и 30° в.д. как –0,10 км/сек, для 27–29° в.д. –0,175 км/сек. В верхней мантии на глубинах 50–200 км формируется высокоскоростной наклонный слой, заканчивающийся в центральной части высокоскоростной областью, характеристики которой представлены выше. В пределах южной области верхняя мантия – высокоскоростная, со сгущением изолиний невязок в интервале 200 км – (275–350 км), и общим изменением невязок скорости в пределах 0,00–0,275 км/сек. Высокоскоростной аномалии, соответствующей области наклонного слоя на глубинах 50–200 км, отвечают значения $\delta = 0,175$ км/сек $\pm 0,025$. В сечениях 27–29° в.д. на глубине 100 км отмечается сгущение изолиний невязок скорости.

Подводя итоги рассмотрению области Варангерского домена, следует отметить, что, так же как и для Беломорского домена, центральные части характеризуются повышенной расслоенностью (согласно невязкам скорости). По отношению к стандартной модели мантии, где глубины переходной зоны определяются в пределах 410–650 км, для обеих областей ЗГГ приподнята и определяется на глубинах (350–300 км) – 600 км. Ее расслоенность включает появление на глубинах 425–500 км высокоскоростной аномалии. Наиболее низкие (учитывая отрицательный знак) невязки скорости достигаются в областях ОР. Последние характеризуются появлением зоны раздела-1 и подъемом кровли низкоскоростной средней мантии, что может приводить к появлению верхнемантийного домена. Например, первой – на пересечении южной ОР Варангер домена и западной ОР Беломорского домена; второй – на пересечении южной ОР Варангер домена и западной ОР не рассматриваемого в данной работе Московского домена. Верхняя мантия обеих областей высокоскоростная, выделяются два слоя. Скоростная расслоенность мантийной области Варангер домена представлена в табл. 3.

1.3. Лапландский верхнемантийный домен (рис. 3 (сечение 66° с.ш.), рис. 4 (сечение 28° в.д.))

В южной ОР Варангер домена, в пределах (65–68° с.ш.) \times (27–29° в.д.), выделяется скоростная область, характеризующаяся резким

расширением ЗГГ и последующим подъемом ее кровли. Отсюда, как следствие, снижение мощности верхней мантии.

Для рассматриваемой области, на фоне низких скоростей средней мантии, в сечении 66° с.ш. на глубинах 575–750 км выделяется высокоскоростная зона раздела-1, которая характеризуется $\delta = (0,00–0,05)$ км/сек. Далее, до 68° с.ш. глубина залегания подошвы зоны раздела-1 изменяется в пределах 700–800 км, а глубина залегания ее кровли (подошвы ЗГГ) 575 км, $\delta = (0,00–0,05)$ км/сек ЗГГ двухслойная. Первый слой определен на глубинах 425–575 км. Невязки скорости этого слоя изменяются: на 65° с.ш. в пределах 0,00 – –0,25 км/сек; на 66° с.ш. и 68° с.ш. 0,00 – –0,275 км/сек; на 67° с.ш. 0,00 – –0,30 км/сек). Подошва второго, верхнего слоя определена на глубине 425 км и доходит до кровли ЗГГ на глубине 275 км. Невязки скорости изменяются в интервале 0,00 – –0,175 км/сек для сечений 66–68° с.ш. и в интервале 0,00 – –0,075 км/сек для сечения 65° с.ш. В верхней мантии на глубинах 75–225 км выделяется более высокоскоростная область, δ в которой изменяются для сечения 65° с.ш. в пределах: 0,15–0,225 км/сек, для сечений 66–68° с.ш. 0,175–0,275 км/сек. Тонкий верхний слой 50–75 км для 65° с.ш. характеризуется $\delta = 0,075$ км/сек, а для 66–68° с.ш. $\delta = (0,15–0,10)$ км/сек.

Восточная ОР определена резким спуском всех изолиний невязок скорости вниз в сторону западной ОР Беломорского домена. **Западная ОР** распространяется в сторону района Норрботтен Свекофеннского мегаблока. От максимального выступа центральной области в пределах ЗГГ и нижней части верхней мантии изолинии невязок скорости погружаются на запад. По всей области выделяется зона раздела-1. Подошва ее залегает, поднимаясь в западном направлении, от 775 до 650 км, кровля поднимается от 650 до 575 км, $\delta = (0,00–0,075)$ км/сек. ЗГГ двухслойная. Подошва нижнего слоя определена на глубине 575 км, кровля на глубине 425 км, где отмечается сгущение изолиний невязок скорости. Кровле нижнего слоя соответствует $\delta = –0,075$ км/сек. В пределах нижнего слоя, для сечения 65° с.ш. $\delta = (–0,075 – –0,25)$ км/сек, для остальных сечений $\delta = (–0,075 – –0,225)$ км/сек. На глубинах 325–425 км кровля верхнего слоя опускается в западной направлении, $\delta = (0,00 – –0,075)$ км/сек.

Высокоскоростная верхняя мантия трехслойная для всей области (65–68° с.ш.). Нижний слой определен на глубинах 200–325 км, $\delta = (0,00–0,05)$ км/сек. Изолинии невязок скорости нижнего слоя расположены параллельно подошве верхней мантии. Второму слою соответ-

Таблица 3. Расслоенность мантийной области Варангер домена

Варангер домен	Координаты	Верхняя мантия, слои, км	ЗГГ, слои, км	Зона раздела-1, слои, км
Центральная область	69–72° с.ш. 25–30° в.д.	50–250 250–300	300–(450 ÷ 475) (450 ÷ 475)–(525 ÷ 50) (525 ÷ 550)–(700 ÷ 800)	Нет
Северная ОР	72–75° с.ш. 25–30° с.ш.	50–250 250–(300 ÷ 400)	(300 ÷ 400)–(600 ÷ 750)	600–750
Южная ОР	65–68° с.ш. 25–30° в.д.	50–200 200–(275 ÷ 350)	(275 ÷ 350)–450 450–600	600–(700 ÷ 800)
Восточная ОР	69–72° в.д. 30–40° в.д.	50–225 225–350	350–450 450–500 500–675	675–900
Западная ОР	69–72° с.ш. 15–25° в.д.	50–(350 ÷ 400)	(350 ÷ 400)–(575 ÷ 600)	(575 ÷ 600)–725

ствуют глубины 125–200 км, изолинии невязок скорости слегка прогнуты вниз ($\delta = (0,05–0,125)$ км/сек). Верхний слой на глубинах 50–125 км связывается с изолиниями невязок скоростей, наклонными в сторону центральной области ($\delta = (0,15–0,20)$ км/сек). Дальнейшее продвижение на запад связывается с мантийными пограничными структурами Фенноскандинавского щита и Скандинавских каледонид.

Северная ОР связывается с южной ОР Варангер домена. **Южная ОР** рассматриваемой структуры ограничивается выходом низких скоростей из средней мантии (64° с.ш.) на общем фоне южной ОР Варангер домена. В интервале 27–29° в.д. выделяется скоростная структура повышенной расслоенности в пределах ЗГГ и верхней мантии. Зона раздела-1 определена на глубинах 575–800 км, $\delta = (0,00–0,075)$ км/сек. ЗГГ двухслойная с нижним слоем на глубинах 425–575 км и верхним слоем на глубинах 325–425 км. Верхняя мантия трехслойная: первый слой выделяется на глубинах 200–325 км, второй на 125–200 км и третий на 50–125 км. Такая повышенная расслоенность, приуроченность к области растекания Варангер домена, общая поднятость этой структуры позволяет говорить о возможном проявлении следов верхнемантийного домена, приуроченных к области растекания

Варангер домена. Табл. 4 показывает общую расслоенность Лапландского верхнемантийного домена.

1.4. Костомукша (рис. 3 (сечения 64° с.ш., 62° с.ш.), рис. 4 (сечение 28° в.д.))

Мантийная область Костомукша определена в интервале (60–64° с.ш.) × (25–30° в.д.). Ее скоростные характеристики связаны с резким поднятием области пониженных скоростей в средней мантии. Спецификой этой области является отсутствие непосредственного выхода низкоскоростной средней мантии в ЗГГ, при том, что поднятие кровли низкоскоростной средней мантии достигает 650 км, в интервале 550–650 км наблюдается высокоскоростная зона раздела-1 и выше до глубины 275 км низкоскоростная ЗГГ. Выпуклость вверх изолиний невязок скорости в верхней мантии отмечается до 125 км. Сравнение с моделью Пушаровских показывает резкое поднятие всех рассматриваемых скоростных слоев мантии в интервале рассмотрения глубин. ОР в широтном направлении определена на восток до Карельского блока (30–35° в.д.) и на запад, включая Центрально-Финляндского массива Свекофеннского мегаблока (20–25° в.д.). В долготном направлении ОР определяется на север до южной ОР Лапландского верхнемантийного домена (табл. 5). На юге ОР определяется до Балтийской моноклинали (60–56° с.ш.) × (25–30° в.д.).

Таблица 4. Расслоенность области Лапландского верхнемантийного домена

Лапландский домен	Координаты	Верхняя мантия, слои, км	ЗГГ, слои, км	Зона раздела-1, слои, км
Центральная часть	65–68° с.ш. 27–30° в.д.	50–75 275–225 225–275	275–425 425–575	575–(700 ÷ 800)
Северная ОР	Область Варангер домена (табл. 3)			
Южная ОР	Область Костомукши (табл. 5)			
Западная ОР	65–68° с.ш. 22–25° в.д.	50–125 125–200 200–325	325–425 425–575	575–(700 ÷ 800)
Восточная ОР	Западная ОР Беломорского домена (табл. 2)			

Таблица 5. Расслоенность мантийной области домена Костомукши

Костомукша	Координаты	Верхняя мантия, слои, км	ЗГГ, слои, км	Зона раздела-1, слои, км
Центральная часть	60–64° с.ш. 25–30° в.д.	50–(125 ÷ 150) (125 ÷ 150) – (225 ÷ 250) (225 ÷ 250) – (325 ÷ 350)	(325 ÷ 350)–425 425–550	550–650
Северная ОР	Южная ОР Варангер домена (табл. 3)			
Южная ОР	60–56° с.ш. 25–30° в.д.	50–100 100–(275 ÷ 300)	(275 ÷ 300)–400 400–650	650–(900 ÷ 1000) В сечении 19° в.д. зона раздела-1 отсутствует
Восточная ОР	60–64° с.ш. 30–35° в.д.	50–125 125–225 225–375	375–475 475–600	600–≥1000
Западная ОР	60–64° с.ш. 20–25° в.д.	50–225 225–275	275–425 425–600	600–875

Центральная область, как было сказано, характеризуется резким поднятием низкоскоростной средней мантии, в результате чего мощность зоны раздела-1 уменьшается до 100 км в интервале 550–650 км, что говорит о ее поднятии, и характеризуется слабым изменением $\delta = (0,00–0,025)$ км/сек. ЗГГ трехслойная. Нижний слой – низкоскоростной, определяется на глубинах 425–550 км, $\delta = (0,00 – -0,10)$ км/сек. Выделяются два подслоя: нижний характеризуется выпуклостью вверх изолиний $\delta = (0,00 – -0,10)$ км/сек, верхний – выпуклостью вниз в том же интервале изменений δ . Второй слой – высокоскоростной, линзообразный и определен в интервале (325–350) – 425 км, $\delta = (0,00–0,10)$ км/сек. Особенностью второго слоя является его связь с высокоскоростной верхней мантией. По своему расположению этот слой может быть определен как внедрение высоких скоростей со стороны верхней мантии и соответствует “крокодилам Майснера” [Цветкова и др., 2010], выделяется под Ладожско-Ботнической шовной зоной. Третья часть ЗГГ низкоскоростная, определена на глубинах 275–325 км, $\delta = (0,00 – -0,05)$ км/сек, являясь верхней частью “крокодила Майснера”. Высокоскоростная верхняя мантия в интервале 150–250 км определяется выпуклыми вверх изолиниями невязок. От 75 до 125 км выделяется овальная область с $\delta = (0,150–0,175)$ км/сек. Выше, от 50 до 75 км, наблюдается сгущение изолиний $\delta = (0,175–0,25)$ км/сек.

Восточная ОР определяет мантию под западной частью Карельского блока до Онежской структуры. Зона раздела-1 выделяется на глубинах 625–900 км, $\delta = (0,00 – 0,075)$ км/сек, откуда следует, что мощность зоны раздела-1 увеличена (275 км) по отношению к модели Пушаровских. ЗГГ в пределах (61–64° с.ш.) состоит из двух слоев. Для сечений 61–63° с.ш. нижний слой значительно более низкоскоростной слой и определен на глубинах 475–625 км. Для сечения 61° с.ш. $\delta = (0,00 – -0,45)$ км/сек,

для 62° с.ш. $\delta = (0,00 – -0,60)$ км/сек, для 63° с.ш. $\delta = (0,00–0,45)$ км/сек. В пределах 64° с.ш. нижний слой ЗГГ определен в интервале глубин 425–625 км, $\delta = (0,00 – -0,35)$ км/сек. Верхний слой определен на глубинах 375 км – (425–475 км), $\delta = (-0,05 – 0,00)$ км/сек. Верхняя мантия – высокоскоростная, характеризуется погруженными вниз изолиниями невязок скоростей, выделяется линзообразная аномалия невязок скоростей, где они достигают максимального для верхней мантии значения. Для 61° с.ш. аномалия выделяется на глубинах 100–225 км, $\delta = 0,15$ км/сек; для 62° с.ш. аномалия невязок скорости соответствует глубинам 150–225 км, $\delta = 0,20$ км/сек; 63° с.ш. на глубинах 150–200 км $\delta = 0,15$ км/сек; для 64° с.ш. на глубинах (125–150 км) $\delta = 0,10$ км/сек.

Западная ОР связана с мантией под Центральным Финляндским массивом. Для нее зона раздела-1 определена на глубине 600–875 км, $\delta = (0,00–0,125)$ км/сек. ЗГГ двухслойная. Нижняя часть определена на глубинах 425–600 км, $\delta = (0,00 – -0,35)$ км/сек. Верхний слой определен в интервале глубин 275–425 км, $\delta = (0,0 – -0,05)$ км/сек. Этот слой приподнят и объединен с верхним слоем ЗГГ центральной области, образуя верхнюю часть “крокодила Майснера”. В верхней мантии $\delta = (0,00–0,20)$ км/сек, изолинии невязок скорости испытывают прогнутость вниз и на глубинах 50–75 км характеризуются сильным сгущением.

Северная ОР связана с выступом кровли низкоскоростной средней мантии в области растекания Варангерского домена и определяется его южной областью растекания в пределах (65–68° с.ш.) × (25–30° в.д.), что соответствует мантии Лапландского верхнемантийного домена, и была представлена выше.

Южная ОР ограничивается мантией под северной оконечностью Балтийской моноклинали. В сечениях 25–27° в.д. высокоскоростной слой зоны раздела-1 наблюдается до глубины 1100 км,

Таблица 6. Расслоенность мантийной области Шеллефтео домена

Шеллефтео домен	Координаты	Верхняя мантия, слои, км	ЗГГ, слои, км	Зона раздела-1, слои, км
Центральная часть	64–68° с.ш. 18–20° в.д.	50–175 175–400	400–600	Нет. Только для сечения 64° с.ш.: 600–650
Северная ОР	68–71° с.ш. 18–20° в.д.	50–175 175–407	400–550	550–≥1100
Южная ОР	63–60° с.ш. 18–20° в.д.	50–175 175–400	400–600	600–≥1000
Восточная ОР	Западная ОР Лапландско- го домена (табл. 4)			
Западная ОР	64–66° с.ш. 7–18° в.д.	50–175 175–400	400–575	575–750

в сечениях 28–30° в.д. до глубины 750 км. Кровля зоны раздела-1 опускается от 550 до 650 км. ЗГГ двухслойная (25–28° в.д.). Нижний слой определен на глубине 400–650 км, $\delta = (0,00 - -0,25)$ км/сек. Верхний слой менее низкоскоростной, определен на глубинах (275–300) – 400 км, $\delta = (0,00 - -0,05)$ км/сек. В пределах 29–30° в.д. ЗГГ определена на глубинах (300–400) – 650 км и не расслоена, $\delta = (0,00-0,30)$ км/сек. Кровля зоны испытывает уклон на север.

Высокоскоростная верхняя мантия южной области разделена на две части по геометрии залегания изолиний невязок скорости. Раздел происходит на глубине 100 км. В нижней части изолинии невязок скорости прогнуты вниз, $\delta = (0,00-0,175)$ км/сек. В верхней части на глубине 50–100 км изолинии прогнуты в основном вверх и $\delta = (0,20-0,25)$ км/сек.

2.1. Свекофеннский мегаблок. Шеллефтео домен (рис. 3 (сечение 66° с.ш.), рис. 4 (сечение 19° в.д.))

Следующая из рассматриваемых скоростных структур, связанных с выходом низкоскоростной средней мантии в ЗГГ, относится к мантии пограничной области между Центральным Норландом и Норрботтенем Свекофеннского мегаблока в долготном направлении и пограничной области между Фенноскандинавским щитом и Скандинавскими каледонидами в широтном направлении. Она выделяется в пределах (64–68° с.ш.) × (18–20° в.д.). Западная ОР (12–17° в.д.) определяет мантию под Скандинавскими каледонидами в пределах рассматриваемых широтных сечений. Восточная ОР соответствует западной области растекания (20–25° в.д.), Лапландского верхнемантийного домена. Южная ОР (60–63° с.ш.) ограничена мантией под восточным окончанием Свекофеннид Свеаленда и далее на восток до Алландских островов. Северная часть области растекания определяется до 71° с.ш., начиная от мантии под Скандинавскими каледонидами до мантии под Баренцевоморским шельфом, находящейся под влиянием мантийных процессов под Свальбардом.

Основной особенностью рассматриваемого ФД является наклонное распространение ЗГГ в среднюю мантию для области (67–68° с.ш.) × (18–20° в.д.), однослойность ЗГГ для всего ФД, специфика распространения изолиний скорости верхней мантии, геометрия которых образует прогнутую вниз до подошвы верхней мантии структуру.

Для сечений 64–66° с.ш. центральная область определяется распространением пониженных скоростей из средней мантии до глубины 575 км, что соответствует подошве ЗГГ, $\delta = (0,00-0,025)$ км/сек. Область 67–68° с.ш. связана с переходом от скоростных структур Свекофеннского мегаблока (район Норрботтен) к скоростным структурам мантии под Скандинавскими каледонидами. Здесь отсутствует зона раздела-1, и выделяется низкоскоростной спуск от западной оконечности ЗГГ в низкоскоростную среднюю мантию, $\delta = -0,025$ км/сек. Для всего ФД кровля ЗГГ несколько выпукла вверх, ее глубина залегания определена на глубине 400–(575 ± 25) км, минимальные значения $\delta = (-0,125 - -0,20)$ км/сек. Верхняя мантия высокоскоростная, делится на две части, $\delta = (0,00-0,15)$ км/сек. Верхняя часть определена на глубинах 50–175 км сгущением и погружением изолиний невязок скорости к центральной части. Нижняя часть на глубинах 175–400 км определяется погружающимися к подошве верхней мантии центральной части изолиниями невязок. Как результат, образуется прогнутая вниз до подошвы верхней мантии структура.

Анализ скоростного строения Шеллефтео ФД показывает отличие от скоростного строения Беломорского и Варангер ФД. Прежде всего, несмотря на распространение низких скоростей из средней мантии до ЗГГ, отсутствие расслоенности ЗГГ, специфика геометрии изолиний невязок скорости высокоскоростной верхней мантии, а именно: погружение их до подошвы верхней мантии, сопровождающееся образованием "котла" (см. рис. 3, 4). [Богатиков и др., 2010]. Расслоенность мантии под Шеллефтео доменом представлена в табл. 6.

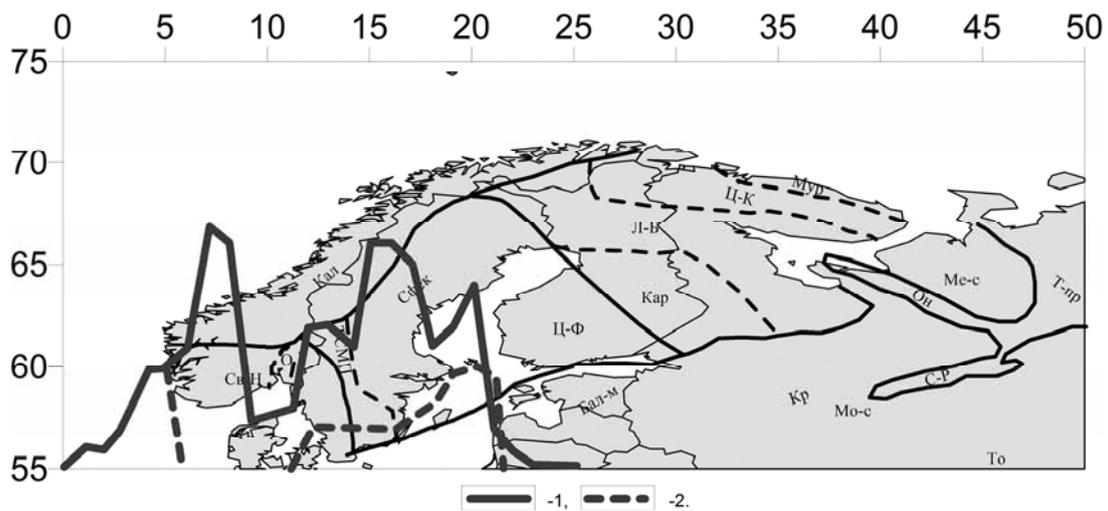


Рис. 5. Границы распространения ЗГГ (переходной зоны верхней мантии): 1 – максимальное распространение высокоскоростных слоев окружения ВЕП, 2 – распространение низкоскоростного слоя

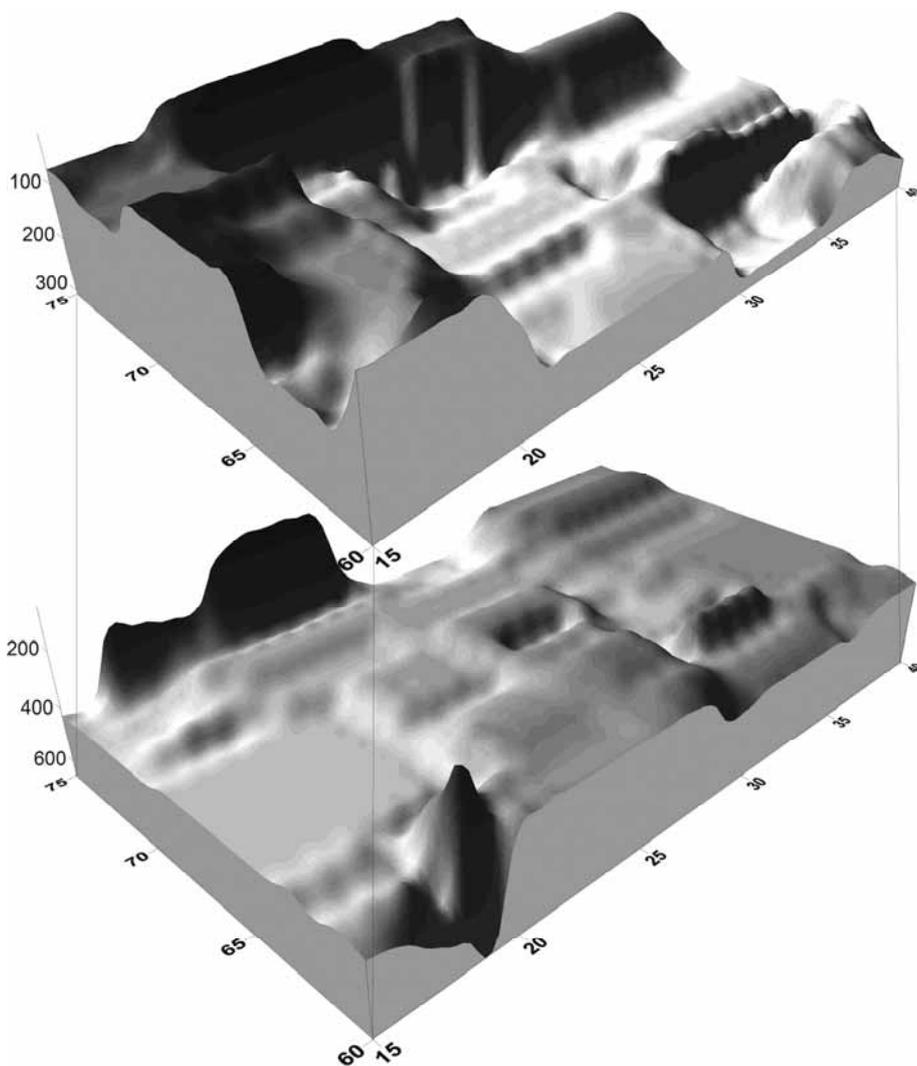


Рис. 6. Расслоенность верхней мантии. Нижний рисунок – изоповерхность подошвы верхней мантии (кровли ЗГГ); верхний рисунок – поверхность максимального воздымания изолиний невязок скорости нижней части верхней мантии

Таблица 7. Сравнение мантийных характеристик центральных областей доменов Фенноскандии

Верхняя мантия, слои	Беломорский домен	Варангер домен	Костомукша верхнемантийный домен	Шеллефтео домен	Лапландский верхнемантийный домен
	2	2	3	2	3
Граница сейсмической литосферы, км	175	200 ± 25	225	175	225
Глубина поднятия изолиний невязок по верхней мантии, км	175	200 ± 25	125	375	225
Глубина залегания кровли ЗГГ, км	300	300–325	275	400	275
ЗГГ, слои	3	3	3	1	2
ЗГГ, минимальные невязки скорости, км/сек	-0,25	-0,20	-0,20	-0,20	-0,30
ОР ЗГГ, минимальные невязки скорости, км/сек	-0,40 (ЛПП, Кандалакшский грабен)	-0,40 (Северо-Баренцева плита)	-0,60 (Карельский массив)	-0,35 (Св.-Ф. блок, Балтийское море)	-0,40 (БПП, Центрально-Карельский блок)
Присутствие зоны раздела-1	нет	нет	да	нет	да

3.1. Свекофеннский мегаблок. Мантийная колонка грабена Осло (рис. 3 (сечение 59° с.ш.), рис. 4 (сечение 19° в. д.))

Завершает рассмотрение проявление скоростной мантийной колонки в области мантии под грабеном Осло и его западным окружением (58–61° с.ш.) × (10–14° в.д.). Согласно рис. 5, на котором представлены границы распространения высокоскоростной переходной зоны мантии под окружением ВЕП, мантия рассматриваемого района относится к области распространения высокоскоростной ЗГГ мантии окружения ВЕП в низкоскоростную ЗГГ южного окончания Свекофеннского мегаблока. Как в широтных, так и в долготных сечениях, проявляется мантийная субвертикальная колонка чередующихся высоко- и низкоскоростных аномалий: для глубин 1500–1700 км невязки скорости понижены, 1000–1200 км – невязки скорости повышены, 550–850 км – понижены, 400–550 км – повышены, 200–400 км – понижены, 75–200 км – повышены, 50–75 км – понижены. Отмечается поднятие подошвы ЗГГ (550 км), расслоенность верхней мантии на низкоскоростную верхнюю часть (50–75 км) и высокоскоростную нижнюю (75–200 км). Зоны растекания отсутствуют.

На рис. 6 в нижней части показана поверхность кровли ЗГГ (подошвы верхней мантии) рассматриваемого региона. В верхней части рисунка изображена поверхность слоя максимального поднятия высокоскоростных изолиний нижней части верхней мантии. Наиболее ярким является поднятие, соответствующее мантийной колонке грабена Осло.

Приведенный анализ скоростного строения позволяет сделать вывод о различных проявлениях сверхглубинных доменов мантии под Све-

кофенским и Кольско-Карельским мегаблоками, а именно: выделении центральных частей и областей растекания, расслоенности центральных областей и областей растекания доменов, а также о присутствии сопутствующих доменов (верхнемантийные домены области растекания Варангер ФД и Беломорского ФД).

Различие в проявлениях доменов под Свекофенским и Кольско-Карельским мегаблоками состоит в различных уровнях расслоенности как ЗГГ, так и верхней мантии. В табл. 7 представлены основные характеристики центральных частей выделенных доменов.

4. Общие скоростные характеристики ФД

Основной скоростной характеристикой центральных областей являются относительно небольшие невязки, характеризующие распространение в вышележащие слои пониженных изолиний невязок скоростей из средней мантии. При этом происходит расслоение ЗГГ и увеличение ее мощности. Для центральных областей Беломорского, Варангерского доменов и Костомукши ЗГГ делится на три части. Нижний скоростной слой связан со средней мантией. Второй слой – высокоскоростной, для ФД Беломорского и Варангера доменов представляют "крокодилов Майснера" и приурочены к области контактов: для Костомукши – Карельского блока Кольско-Карельского мегаблока и Центрально-Финляндского массива Свекофеннского мегаблока; для Варангера – Центрально-Кольского блока, шельфа Баренцевого моря и Скандинавских каледонид. Беломорский ФД связывается с сочленением Центрально-Кольского, Карельского блоков и Мезенской синеклизы. Глубина залегания кровли ЗГГ для Варангера и Беломорского ФД,

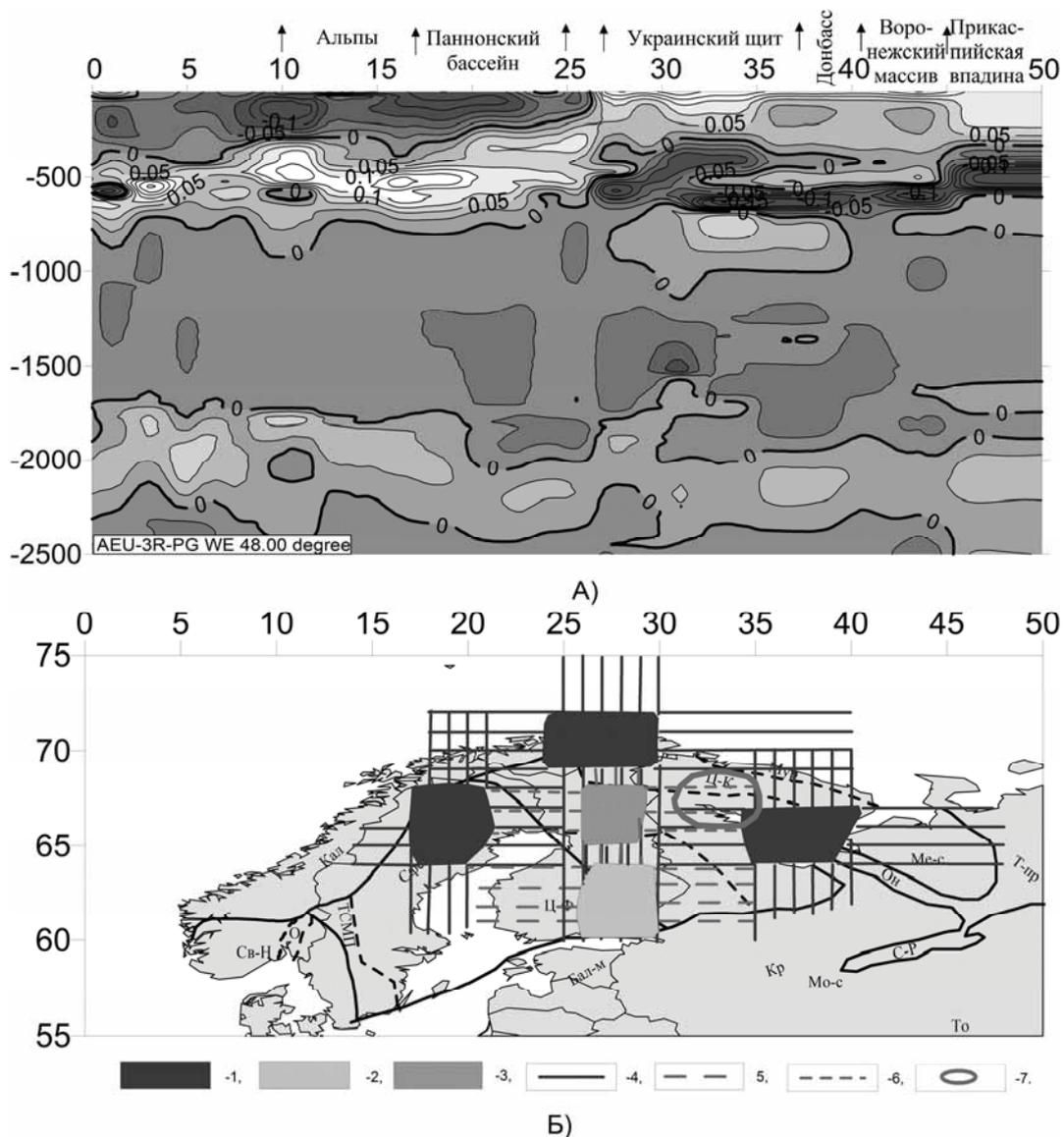


Рис. 7. А) Широтное сечение 48° с.ш. трехмерной Р-скоростной модели мантии до глубины 2500 км; Б) Области растекания мантийных доменов: 1 – Беломорский, Варангер, Шеллефтео, 2 – Костомукша, 3 – Лапландский верхнемантийный домен, 4 – направления растекания со стороны Беломорского, Варангер и Шеллефтео доменов, 5 – направления растекания со стороны Костомукши, 6 – направления растекания со стороны Лапландского верхнемантийного домена, 7 – предполагаемый рельеф Карело-Кольская щелочная провинция [Богатиков и др., 2010]

Лапландского и Костомукши верхнемантийных доменов определена как 300 ± 25 км. Наиболее поднятой является кровля ЗГГ Костомукши и Лапландского верхнемантийного доменов – 275 км. Наиболее опущенной – Шеллефтео домена (Свекофеннский мегаблок) – 400 км. Верхняя мантия делится, как правило, на две части: нижнюю, испытывающую подъем изолиний невязки скорости вслед за кровлей ЗГГ, и верхнюю часть, в целом характеризующуюся погружением изолиний невязки скорости. Появляющееся сгущение изолиний в верхах верхней мантии и ЗГГ может быть рассмотрено как

дополнительный слой, подчеркивающий основную границу. Следует отметить, что на все скоростные структуры могут оказывать влияние близлежащие скоростные структуры. Анализ поведения нижнего слоя верхней мантии показывает, что основной подъем изолиний невязки скорости отмечается до глубины 200 ± 25 км, в том числе для Варангер домена 200–225 км, для Беломорского домена – 175 км, для Костомукши – 200 км, для Лапландского верхнемантийного домена – 225–250 км. Выделяется Шеллефтео домена (Свекофеннский мегаблок), для которого подъем изолиний

Таблица 8. Области растекания

Направление растекания	Беломорский домен	Варангер домен	Костомукша верхнемантийный домен	Шеллефтео домен	Лапландский верхнемантийный домен
На восток	Мезенская синеклиза	Юг Южно-Баренцевского бассейна	Восточная часть Балтийской моноклинали, Карельского массива, включая Вожелачский грабен	Запад Восточно-Финляндской синклинали зоны, юго-запад Карельского массива	Восточная часть БПП (Лапландский массив)
На запад	ЛПП, Карельский блок (восточная часть)	Шельф Баренцевого моря до Норвежского бассейна (трансформный разлом Сенья)	Восточная часть Центрально-Финляндского массива Свекофеннского мегаблока	Скандинавские каледониды	Район Норрботтен Свекофеннского мегаблока
На север	Кейвский блок, Мурманский блок, Северо-Баренцева плита (юг)	Бассейн Норд Капп	Запад Карельского массива, восток Лапландского массива	Норрботтен, Скандинавские каледониды	Гранулитовый массив Центрально-Кольского блока
На юг	Восточная часть Карельского блока (Онежские структуры, Беломорский массив до Балтийской моноклинали)	Гранулитовый массив, восточная часть Лапландского массива, Карельский массив до Восточно-Финляндской синклинали зоны	Балтийская моноклираль	Центральный Норланд, Балтийское море до Алландских о-вов	Западная часть Карельского массива, Восточно-Финляндская синклинали зона

невязок скорости определяется до глубины 375 км, затем следует область до глубины 150–175 км постоянной изолинии невязок. Верхи верхней мантии относятся к области сейсмической литосферы. Последняя может быть определена по градиентным характеристикам среды, изменением геометрии (выпуклости) изолиний невязок скорости. Область, определяемая границей максимального распространения высокоскоростной ЗГГ окружения ВЕП в ее низкоскоростную ЗГГ (см. рис. 5), позволяет выделить мантийные колонки. Например, мантия под грабеном Осло.

ОР домены, характеризующиеся повышением кровли ЗГГ, представлены на рис. 7, Б. В данной работе рассматриваются локальные зоны растекания, ограниченные изменениями в скоростных структурах средней мантии, зоны раздела-1, ЗГГ (появление новых выходов из низкоскоростной средней мантии, поднятие ЗГГ, появление верхнемантийных доменов). Области растекания выделенных доменов в целом характеризуются более контрастными особенностями скоростного строения по отношению к центральным областям. В табл. 8 указаны тектонические области, мантия под которыми связывается с локальными областями растекания доменов.

Связанность центральных областей выхода низких скоростей из средней мантии и их областей локального растекания позволяет рассматривать в общности эти области как систему. Для мантии Фенноскандинавского

щита по приведенным характеристикам возможна следующая типизация выделенных систем:

1. К первой группе относятся Беломорский и Варангерский ФД, определяющие "домены", обладающие схожими характеристиками: погруженные залегания сейсмической литосферы (175 км для Беломорского ФД, 250 км для Варангер ФД), глубина поднятия изолиний невязок верхней мантии (200 км для Беломорского ФД, 250 км для Варангер ФД), глубина залегания кровли ЗГГ 300 ± 25 км, трехслойность ЗГГ, значение минимальной невязки скорости – $-0,20 \pm 0,05$ км/сек, минимальные невязки скорости в зонах растекания ($-0,40$ км/сек), отсутствие зоны раздела-1.

2. Шеллефтео домен относится к области сочленения района Норрботтен, Центральной синклинали зоны Норланда и Скандинавских каледонид. Несмотря на четкое проявление низкоскоростного выхода из средней мантии скоростные характеристики отличаются от предыдущих. ЗГГ имеет глубину залегания ее кровли 425 км, что близко к модели Пушаровских. Глубина поднятия изолиний невязок нижнего слоя верхней мантии составляет 375 км. Сейсмическая литосфера определена на глубинах 50–200 км. Минимальные значения $\delta = (-0,15 - -0,20)$ км/сек в ЗГГ и $\delta = -0,35$ км/сек для области растекания. Соответствие приведенных скоростных характеристик модели Пушаровских, скорее всего, отмечает завершившийся процесс.

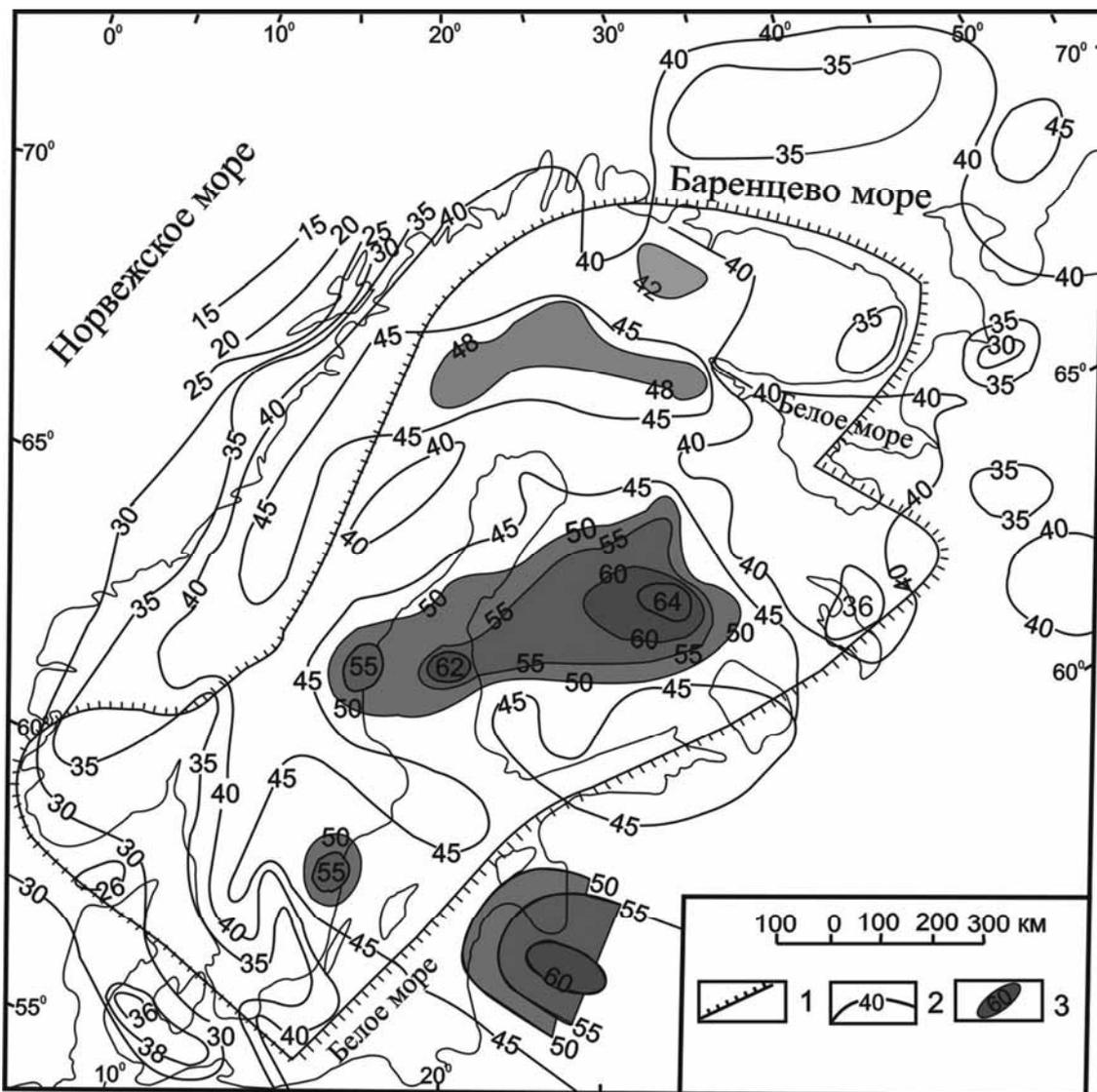


Рис. 8. Карта-схема глубины залегания границы М Фенноскандинавского щита [Шаров, Митрофанов, 2014]

3. Верхнемантийный домен Костомукша. По скоростным характеристикам проявления сейсмического изображения близок к первой группе (см. табл. 2, 3, 7). Отличается присутствием достаточно слабовыраженной зоны раздела-1, кровля которой приподнята до 550 км, мощность 100 км при $\delta = (0,00-0,025)$ км/сек. Глубина поднятия изолиний невязок верхней мантии – 225 км. Существенно ниже поднятие кровли ЗГГ до 275 км. Минимальные невязки скорости для восточной зоны растекания (западная часть Карельского массива) достигает 0,60 км/сек. ФД относится к области сочленения Карельского массива Кольско-Карельского мегаблока и Свекофеннского мегаблоков (Ладожско-Ботнической шовной зоне). Приведенные скоростные характеристики позволяют предположить более недавнее прояв-

ление верхнемантийного домена, относящегося в южной ОР Варангер домена.

4. При пересечении западной ОР Беломорского домена и южной ОР Варангер домена в мантии под Лапландским массивом выделяется Лапландский верхнемантийный домен. Подошва ЗГГ приподнята до глубины 575 км, что на 50 км выше, чем для центральной области, невязки скорости зоны раздела-1 $\delta = (0,00-0,10)$ км/сек. В ЗГГ выделяются два слоя. Кровля нижнего определена на глубине 425 км, минимальная $\delta = (-0,275 - -0,30)$ км/сек. Второй слой выделен на глубинах 275–425 км, минимальное $\delta = -0,175$ км/сек. Верхняя мантия трехслойная. Нижний на глубинах 225–275 км, характеризующийся выпуклыми вверх изолиниями невязок скорости и верхний на глубинах 50–75 км, промежуточный слой на глубинах

75–225 км, вместе с верхним слоем определяющий сейсмическую литосферу. Изолинии невязок нижнего слоя выпуклы вверх, изолинии промежуточного образуют овалообразную структуру. Приведенная повышенная расслоенность характеризует верхнемантийный домен и дает возможность предположить формирование его, как минимум, в пределах верхней мантии, ее переходной зоны и зоны раздела-1.

5. Мантийная колонка грабена Осло приурочена к области, ограниченной внедрением высокоскоростной ЗГГ окружения ВЕП в низкоскоростную ЗГГ южного окончания Фенноскандинавского щита (Свеконорвежского мегаблока). Отмечается так же, как и в предыдущих случаях, поднятие подошвы ЗГГ (550 км), расслоенность верхней мантии на высокоскоростную верхнюю часть (50–200 км) и низкоскоростную нижнюю (450–200 км).

Из общего анализа проявления распространения низкоскоростной средней мантии в ЗГГ и дальнейшего ее влияния на скоростные структуры Фенноскандинавского щита следует северо-восток – юго-западное направление изменения проявлений глубинных доменов.

Наибольшей сложностью в проводимых исследованиях является недостаточность системы наблюдения, которая не обеспечивает глубину исследований средней и нижней мантии. Для рассматриваемой территории Фенноскандинавского щита проведено большое количество геофизических исследований, прежде всего сейсмических. Комплексные геолого-геофизические исследования в своем абсолютном большинстве посвящены изучению коры и верхов верхней мантии (верхние 100 км). Результаты этих исследований представлены в ряде монографий: [Сейсмогеологическая модель..., 1998, 2004; Глазнев, 2003; Глубинное строение..., 2004; Строение литосферы ..., 2005].

Один из основных выводов этих работ – это связь тектономагматических процессов Фенноскандии с глубинными доменами [Богатиков и др., 2010; Шаров, Митрофанов, 2014]. Проведенный анализ скоростного строения мантии под Фенноскандией до глубины 1100 км подтверждает эти выводы. Как пример может быть приведена Кольско-Карельская щелочная провинция (рис. 7, Б), которая относится к области пересечения Западной ОР Беломорского домена и Восточной ОР Лапландского верхнемантийного домена [Богатиков и др., 2010]. Выделенные области с наибольшей глубиной залегания коры соответствуют проявлениям верхнемантийных доменов, соответствующих областям пересечения ОР Варангерского и Беломорского доменов (область сочленения

Карельского и Лапландского массивов) – 45 км, Костомукше, области сочленения Кольско-Карельского мегаблоков и Свекофеннского мегаблоков (Западно-Карельский массив и Центрально-Финляндский массив) – 65 км (рис. 8). Области, соответствующие основным завершающим свое развитие доменам (Беломорскому, Варангер, Шеллефтео), соответствует мощность коры 35–40 км (см. рис. 8).

Выводы

1. В мантии под Фенноскандией выделены области сейсмического проявления доменов (см. рис. 2, а). К ним относятся мантия под Лапландско-Беломорским гранулит-гнейсовым поясом (Белым морем), под Варангером, под Свекофеннским мегаблоком (Шеллефтео). Каждая из центральных областей (областей выхода) характеризуется приподнятостью кровли ЗГГ и последующим уменьшением глубины залегания кровли для широтных сечений на восток и запад, для долготных – на север и юг (области растекания). Вместе центральная область и области растекания образуют домен, несущий следы сверхглубинного процесса. По абсолютным значениям невязки скоростей в ЗГГ выше в областях растекания, чем в области выхода.

2. Следы распространения низких скоростей не заканчиваются в ЗГГ, продолжаясь в верхней мантии и характеризуясь уже как высокоскоростные, выпуклые вверх изолинии невязок. В верхней мантии выделяется нижняя часть, характеризующаяся поднятием изолиний невязок скорости, кровля которой определяется на глубинах 200 ± 25 км, за исключением области Шеллефтео, где ее глубина определена на 375 км.

3. В областях растекания, которые, в целом, определяются уменьшением глубины залегания кровли ЗГГ до нормального (410 км) и появлением зоны раздела-1, в южной области растекания плюма Варангер выделяются верхнемантийные домены: Лапландский (на пересечении с западной ОР Беломорского домена), Костомукши (на пересечении с западной ОР Московского домена, здесь не рассматривавшегося). В мантии под грабеном Осло (Свеконорвежский мегаблок) выделяется мантийная колонка.

4. По скоростным характеристикам мантия в областях, соответствующих доменам, обладает повышенной расслоенностью. Характерна трехслойность ЗГГ, двух- или трехслойность верхней мантии. Мантийным колонкам в областях растекания присуща общая приподнятость границ, начиная с кровли зоны раздела-1, а также повышенная расслоенность.

5. Скоростные характеристики Шеллефтео домена соответствуют нормальному скоростному строению мантии, кроме выхода низких скоростей из средней мантии к ЗГГ.

6. Основные северные домены, Варангер и Беломорский, согласно проявленным скоростным характеристикам, находятся в стадии завершения развития, в силу выходов в верхнюю мантию, характеризующихся высокими скоростями. Недостаточность системы наблюдения не дает возможности оценить поведение скоростных характеристик следов плюма в средней и нижней мантии. По аналогии с проявлениями Северо-Азовского домена (см. рис. 7, а (48° с.ш., $40 \pm 2^\circ$ в.д.)) можно ожидать отсутствие проявлений в средней и нижней мантии.

7. Повышенная глубина залегания границы М (48–65 км) соответствует верхнемантийным доменам, Лапландскому и Костомукши, в то время как завершившим свое развитие доменам соответствуют нормальные глубины (36–40 км).

Литература

Богатиков О. А., Коваленко В. И., Шарков Е. В. Магматизм, тектоника, геодинамика Земли. М.: Наука, 2010. 605 с.

Гейко В. С. Тейлорово приближение волнового уравнения и уравнения эйконала в обратных сейсмических задачах // Геофиз. журн. 1997. Т. 19, № 3. С. 48–68.

Гейко В. С., Цветкова Т. А., Санникова Н. П. и др. Региональная 3-d P-скоростная структура мантии северо-западной Евразии-1. Европа // Геофиз. журн. 1998. Т. 20, № 3. С. 67–91.

Глубинное строение и сейсмичность Карельского региона и его обрамления / Под ред. Н. В. Шарова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 351 с.

Лаврентьев М. М., Романов В. Г., Шишатский С. П. Некоторые проблемы математической физики и анализа. М.: Наука, 1980. 286 с.

Пуцаровский Ю. М., Пуцаровский Д. Ю. Геология мантии Земли. М.: Геос, 2010. 138 с.

Сейсмогеологическая модель литосферы Северной Европы. Ч. 1 / Под ред. Ф. П. Митрофанова, Н. В. Шарова. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 237 с.

Сейсмогеологическая модель литосферы Северной Европы. Ч. 2 / Под ред. Ф. П. Митрофанова, Н. В. Шарова. Апатиты: КНЦ РАН, 1998. 204 с.

Сейсмогеологическая модель литосферы Северной Европы. Ч. 1 / Под ред. Н. В. Шарова. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2004. 352 с.

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

Шаров В. Н., Митрофанов Ф. П. Скоростные неоднородности Фенноскандинавского (Балтийского) щита // Докл. РАН. 2014. Т. 454, № 2. С. 221–224.

Юдахин Ф. Н., Щукин Ю. К., Макаров В. И. Глубинное строение и современные геодинамические процессы в литосфере Восточно-Европейской платформы. Екатеринбург: УрО РАН, 2003. 300 с.

Юдахин Ф. Н. Геодинамические процессы в земной коре и сейсмичность континентальной части Европейского Севера // Литосфера. 2002. № 2. С. 3–23.

Гейко В. С., Цветкова Т. А. О единственности решения одномерной обратной кинематической задачи сейсмики // Геофиз. журн. 1989. Т. 11, № 6. С. 61–66.

Гейко В. С., Цветкова Т. А. Об условной корректности одномерной кинематической задачи сейсмики // Геофиз. журн. 1993. Т. 15, № 3. С. 27–50.

Цветкова Т. А. Продолжение обобщенного поля времен вниз и обратная кинематическая задача сейсмики // Доповіді НАН України. 1996. № 1. С. 79–85.

Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Сейсмотомография Восточно-Европейской платформы: трехмерная P-скоростная модель мантии под Фенноскандией - I // Геофиз. журн. 2009. Т. 31, № 1. С. 53–72.

Цветкова Т. А., Шумлянская Л. А., Бугаенко И. В., Заец Л. Н. Сейсмотомография Восточно-Европейской платформы: трехмерная P-скоростная модель мантии под Фенноскандией - II // Геофиз. журн. 2010. Т. 32, № 1. С. 60–77.

Хаин В. Е. Тектоника континентов и океанов. М.: Научный мир, 2001. 604 с.

Geiko V. S. A general theory of the seismic travel-time tomography // Геофиз. журн. 2004. Т. 26, № 2. С. 3–32.

Поступила в редакцию 20.04.2015

References

Bogatikov O. A., Kovalenko V. I., Sharkov E. V. Magmatizm, tektonika, geodinamika Zemli [Magmatism, tectonics and geodynamics of the earth]. Moscow: Nauka, 2010. 605 p.

Geiko V. S. Teilorovo priblizhenie volnovogo uravneniya i uravneniya eikonala v obratnykh seismicheskikh zadachakh [Taylor approximation of the wave equation and Eikonal equation in the reverse seismic problems]. *Geofiz. zhurn.* [Geophysical Journal]. 1997. Vol. 19, No 3. P. 48–68.

Geiko V. S., Tsvetkova T. A., Sannikova N. P., Livanova L. P., Geiko K. V. Regional'naya 3-d P-skorostnaya struktura mantii severo-zapadnoi Evrazii-1. Evropa [Regional 3-d P-velocity structure of the northwestern Eurasia-1 mantle. Europe]. *Geofiz. zhurn.* [Geophysical Journal]. 1998. Vol. 20, No 3. P. 67–91.

Glubinnoe stroenie seismichnost' Karel'skogo regiona i ego obramleniya [Deep structure and seismicity of the Karelian region and its margins]. Ed. N. V. Sharov. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2004. 351 p.

Laurent'ev M. M., Romanov V. G., Shishatskii S. P. Nekotorye problemy matematicheskoi fiziki i analiza [Some problems of mathematical physics and analysis]. Moscow: Nauka, 1980. 286 p.

Pushcharovskii Yu. M., Pushcharovskii D. Yu. Geologiya mantii Zemli [Geology of the Earth's mantle]. Moscow: Geos, 2010. 138 p.

Seismogeologicheskaya model' litosfery Severnoi Evropy. Ch. 1 [Seismological model of the North European lithosphere. Part 1]. Ed. F. P. Mitrofanov, N. V. Sharov. Apatity: KRC of RAS, 1998. 237 p.

Seismogeologicheskaya model' litosfery Severnoi Evropy. Ch. 2 [Seismological model of the North European lithosphere. Part 2]. Ed. F. P. Mitrofanov, N. V. Sharov. Apatity: KRC of RAS, 1998. 204 p.

Seismogeologicheskaya model' litosfery Severnoi Evropy. Ch. 1 [Seismological model of the North European lithosphere. Part 1]. Ed. N. V. Sharov. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2004. 352 p.

Stroenie litosfery rossiiskoi chasti Barents-regiona [Structure of the lithosphere in the Russian part of the Barents region]. Ed. N. V. Sharov, F. P. Mitrofanov, M. L. Verba, K. Gillen. Petrozavodsk: KarRC of RAS, 2005. 318 p.

Sharov V. N., Mitrofanov F. P. Skorostnye neodnorodnosti Fennoskandinavskogo (Baltiiskogo) shchita [Velocity heterogeneities in the Fennoscandian (Baltic) shield]. *Dokl. RAN [Proceedings of RAS]*. 2014. Vol. 454, No 2. P. 221–224.

Yudakhin F. N., Shchukin Yu. K., Makarov V. I. Glubinnoe stroenie i sovremennye geodinamicheskie protsessy v litosfere Vostochno-Evropeiskoi platformy [Deep structure and modern geodynamic processes in the lithosphere of the East European platform]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2003. 300 p.

Yudakhin F. N. Geodinamicheskie protsessy v zemnoi kore i seismichnost' kontinental'noi chasti Evropeiskogo Severa [Geodynamic processes in the earth crust and seismicity of the continental part of the European North]. *Litosfera [Lithosphere]*. 2002. No 2. P. 3–23.

Geiko V. S., Tsvetkova T. A. O edinstvennosti resheniya odnomernoi obratnoi kinematicheskoi zadachi seismiki. 3 [On uniqueness of solution of the unidimensional inverse kinematic problems of seismics. 3]. *Geofiz. zhurn. [Geophysical Journal]*. 1989. Vol. 11, No 6. P. 61–66.

Geiko V. S., Tsvetkova T. A. Ob uslovnoi korrektnosti odnomernoi kinematicheskoi zadachi seismiki [On the conditional correctness of unidimensional kinematic problem of seismics]. *Geofiz. zhurn. [Geophysical Journal]*. 1993. Vol. 15, No 3. P. 27–50.

Tsvetkova T. A. Prodolzhenie obobshchennogo polya vremen vniz i obratnaya kinematicheskaya zadacha seismiki [Downwards continuation of the generalized time field and inverse kinematic problem of seismics]. *Dopovidi NAN Ukraini*. 1996. No 1. P. 79–85.

Tsvetkova T. A., Shumlyanskaya L. A., Bugaenko I. V., Zaets L. N. Seismotomografiya Vostochno-Evropeiskoi platformy: trekhmernaya P-skorostnaya model' mantii pod Fennoskandiei - I [Seismic-tomography of the East-European platform: three-dimensional P-velocity model of the mantel under Fennoscandia - I]. *Geofiz. zhurn. [Geophysical Journal]*. 2009. Vol. 31, No 1. P. 53–72.

Tsvetkova T. A., Shumlyanskaya L. A., Bugaenko I. V., Zaets L. N. Seismotomografiya Vostochno-Evropeiskoi platformy: trekhmernaya P-skorostnaya model' mantii pod Fennoskandiei - II [Seismic-tomography of the East-European platform: three-dimensional P-velocity model of the mantel under Fennoscandia - II]. *Geofiz. zhurn. [Geophysical Journal]*. 2010. Vol. 32, No 1. P. 60–77.

Khain V. E. Tektonika kontinentov i okeanov [Tectonics of continents and oceans]. Moscow: Nauchnyi mir, 2001. 604 p.

Geiko V. S. A general theory of the seismic travel-time tomography. *Geofiz. zhurn. [Geophysical Journal]*. 2004. Vol. 26, No 2. P. 3–32 (in Engl.).

Received April 20, 2015

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Цветкова Татьяна Алексеевна

ведущий научный сотрудник
Национальная академия наук Украины, Институт геофизики
пр. Палладина, 32, Киев-142, Украина, 03680
эл. почта: tsvet@igph.kiev.ua
тел.: +380970747788

Бугаенко Игорь Валентинович

научный сотрудник
Национальная академия наук Украины, Институт геофизики
пр. Палладина, 32, Киев-142, Украина, 03680
эл. почта: igor_bugaenko@ukr.net
тел.: +380970747788

Заец Лариса Николаевна

научный сотрудник
Национальная академия наук Украины, Институт геофизики
пр. Палладина, 32, Киев-142, Украина, 03680
эл. почта: larysa_zaiets@ukr.net
тел.: +380970747788

CONTRIBUTORS:

Tsvetkova, Tatiana

Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine
32 Palladin av., 03680 Kiev, Ukraine
e-mail: tsvet@igph.kiev.ua
tel.: +380970747788

Bugaenko, Igor

Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine
32 Palladin av., 03680 Kiev, Ukraine
e-mail: igor_bugaenko@ukr.net
tel.: +380970747788

Zaiets, Larisa

Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine
32 Palladin av., 03680 Kiev, Ukraine
e-mail: larysa_zaiets@ukr.net
tel.: +380970747788