

Н. П. ЛОПАТИНА, В. З. РЯБОЙ

СКОРОСТНЫЕ И ПЛОТНОСТНЫЕ НЕОДНОРОДНОСТИ ВЕРХНЕЙ ЧАСТИ МАНТИИ ТЕРРИТОРИИ СССР

(Представлено академиком А. В. Пейве 15 VI 1971)

Скоростные и плотностные параметры вещества верхней мантии до глубины 150—200 км ниже ее поверхности исследованы нами по совокупности сейсмических (ГСЗ, большие взрывы, сейсмология) и гравиметрических данных.

Выяснено, что верхняя часть мантии характеризуется значительной неоднородностью не только в горизонтальном, но и в вертикальном направлении. Поэтому может привести к существенным ошибкам оценка физических свойств этой толщи лишь по значениям граничных скоростей распространения продольных сейсмических волн вдоль ее поверхности V_r^M , хотя последние, как известно, наиболее точно определяются по данным ГСЗ. Варьируют они обычно в пределах от 7,7—8,0 до 8,4—8,6 км/сек. обнаруживая известную связь с крупными элементами геологической структуры (¹⁻³).

В последнее время при проведении исследований ГСЗ в некоторых районах наряду с V_r^M были определены скоростные разрезы для самой верхней толщи верхней мантии, мощностью порядка 20—50 км. При этом были установлены довольно существенные различия в скоростном строении при переходе из одного региона в другой, относящиеся к значениям V_p и характеру их изменения с глубиной. В этом диапазоне глубин, в частности, были выделены слои как с пониженными, так и с повышенными значениями скоростей (^{4, 5}).

Изучение скоростного строения верхней части мантии по записям землетрясений и больших взрывов показало, что существенные горизонтальные неоднородности прослеживаются в верхней мантии до глубин порядка 150—200 км и больше (^{2, 6, 7}). Известны районы, где слои с понижением значений V_p в верхней части мантии не выделяется (^{2, 6}), и есть районы, где наблюдается 2—3 волновода (^{8, 9}). Значения V_p изменяются в указанном диапазоне глубин от 7,6 до 8,9 км/сек.

Для скоростных разрезов верхней части мантии, определенных по сейсмологическим данным в различных районах СССР ((⁶⁻⁸) и др.) и в Японии (¹⁰), были вычислены средние скорости распространения продольных волн в ее толще мощностью 150 км ($\bar{V}_{M+150}$). Они равны 7,7—7,85 км/сек для Курило-Камчатской зоны и Японского моря; 7,95—8,0 км/сек для Байкальской рифтовой области и для Памира и 8,1—8,2 км/сек для районов Тянь-Шаня, Саян и Кавказа. Столь значительные вариации значений $\bar{V}_{M+150}$ в верхней части мантии, очевидно, сопровождаются изменением плотности слагающих ее пород, что может быть исследовано по гравиметрическим данным (¹¹).

С этой целью из поля гравитационных аномалий Буге путем последовательного исключения гравитационного эффекта особенностей структуры земной коры и рельефа поверхности Мохоровичича нами была выделена глубинная компонента. При расчетах были использованы построенные в основном по данным ГСЗ карты масштаба 1 : 10 000 000 рельефа поверхностей консолидированной коры (фундамента), «базальтового» слоя и Мохоровичича (¹²). Вычисление гравитационного эффекта проводилось

по формуле для плоско-параллельного слоя. При этом плотность осадочного чехла принималась по экспериментальным данным. Она варьирует в пределах от 1,8 до 2,7 г/см³. Плотность «гранитного» (σ_1) и «базальтового» (σ_2) слоев рассматривалась как функция глубины залегания этих слоев и принималась в пределах 2,7—2,9 г/см³ (σ_1) и 2,9—3,1 г/см³ (σ_2). Плотность верхней мантии считалась постоянной и равной 3,2 г/см³. Возможные отклонения от реальных значений плотности слоев и глубин залегания контактных поверхностей от принятых при расчетах могут приводить

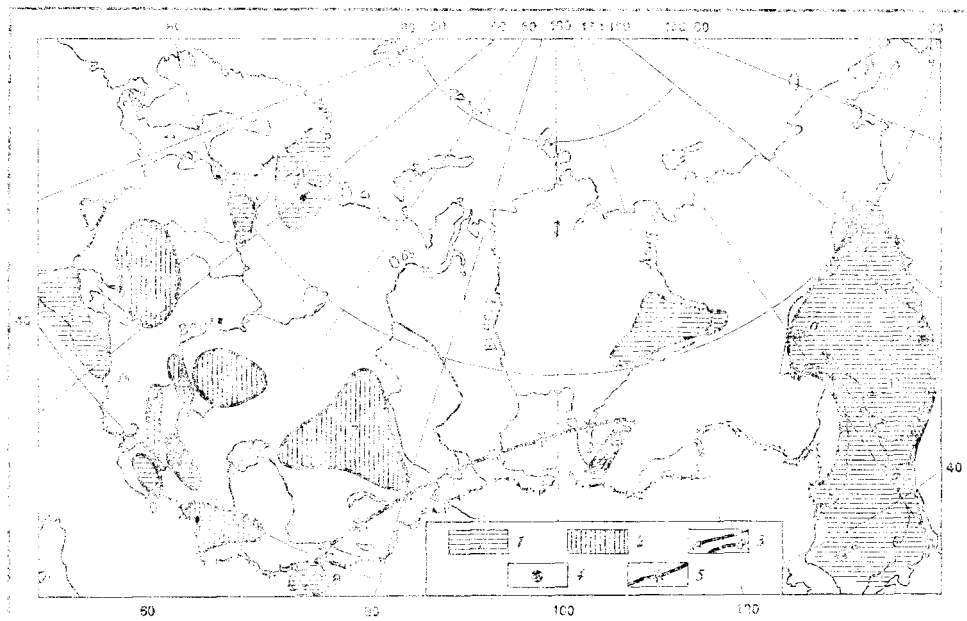


Рис. 1. Схема распределения на территории СССР зон, различающихся по физическим свойствам верхней мантии. 1, 2 — зоны относительно пониженных (1) и повышенных (2) значений $\Delta g'_{\text{глуб}}$, $\bar{V}_{M+150}$, $\bar{\sigma}_{M+150}$; 3 — границы выделенных зон; 4 — по уверенным данным, 6 — предполагаемые; 5 — районы, для которых определены скоростные разрезы верхней части мантии по сейсмологическим данным; 6 — сейсмологический профиль Памир — Байкал, вдоль которого изучено строение верхней мантии. Номера зон соответствуют номерам табл. 1

к ошибкам в определении их суммарного гравитационного влияния до ± 50 мгл.

Из полученных таким образом глубинных аномалий силы тяжести ($\Delta g'_{\text{глуб}}$) было исключено предполагаемое значение гравитационного эффекта плотностных неоднородностей толщ, расположенных на глубинах свыше 150—200 км. Величина этой поправки принята по данным М. Е. Артемьева (¹³) и оказалась в пределах 10—15% от значений вычисленных нами $\Delta g'_{\text{глуб}}$, т. е. с учетом точности последних она практически не вносит изменений в полученные результаты.

Остаточные глубинные аномалии силы тяжести ($\Delta g'_{\text{глуб}}$), полученные в результате исключения гравитационного влияния земной коры и глубинных зон верхней мантии, таким образом, отражают плотностные неоднородности верхней части мантии до глубин порядка 150—200 км ниже поверхности Мохоровичича. Они обладают значительной интенсивностью и достигают ± 250 мгл. Наблюдается определенная закономерность в их распределении по площади. Отрицательные значения $\Delta g'_{\text{глуб}}$ присущи окраинным областям и северному побережью Евразии (Балтийский щит, область перехода от Азиатского континента к Тихому океану). На равнинной части территории СССР (Восточно-Европейская платформа, Западно-

Сибирская плита, Сибирская платформа) преобладают близкие к нулю или слабоположительные значения $\Delta g_{\text{глуб}}$. Выделяется обширная субширотная зона интенсивных положительных аномалий, охватывающая площади Украинского и Воронежского кристаллических массивов, Прикаспийской синеклизы и Центрально-Казахстанского палеозойского массива. Альпийский орогенный пояс юга СССР характеризуется резко дифференцированным полем $\Delta g_{\text{глуб}}$ и их наибольшими значениями.

Таблица 1

№ п. п.	Структура	$\Delta g_{\text{глуб}}$, мг/г	Скоростные и плотностные параметры верхней части мантии		
			$\bar{V}_M$, км/сек	$\bar{V}_{M+150}$, км/сек	ρ_{M+150} , г/см ³
1	Балтийский щит и его склоны	-90	8,4-8,8	8,00*	3,3
2	Украинский и Воронежский кристаллические массивы	+70	8,2-8,4	8,25*	3,4
3	Черное море	-150	8,0-8,2	7,95*	3,3
4	Прикаспийская синеклиза	+100	8,0-8,2	8,30*	3,4
5	Южно-Каспийская впадина	-100	8,0-8,2	8,05*	3,3
6	Юго-восточная Туркмения	+150	8,2-8,3	8,35*	3,4
7	Центрально-Казахстанский массив	+80	8,2-8,5	8,25*	3,4
8	Памир	-100	—	8,00	3,3
9	Байкальская рифтовая область	-50	7,7-7,8	7,95	3,3
10	Восточная синеклиза	-150	—	8,05*	3,3
11	Область перехода от Азиатского континента к Тихому океану				
	а) Курило-Камчатская зона	-100	7,9-8,0	7,85	3,25
	б) Зап. часть Охотского моря	-150	8,1	8,00	3,3
	в) Японская островная дуга и вост. часть Японского моря	-200	7,7-8,0	7,7	3,2
	г) Западная часть Японского моря и Приморье	-200	8,2-8,3	7,7	3,2

Примечание. Звездочкой отмечены предполагаемые значения $\bar{V}_{M+150}$, определенные на основании корреляционной зависимости между $\bar{V}_{M+150}$ и $\Delta g_{\text{глуб}}$.

Корреляционный анализ показал, что статистическая связь между глубинными аномалиями силы тяжести ($\Delta g_{\text{глуб}}$) и значениями средних сейсмических скоростей в верхней мантии ($\bar{V}_{M+150}$) значительно более тесная (коэффициент корреляции +0,67), чем между $\Delta g_{\text{глуб}}$ и V_M^m (коэффициент корреляции +0,35). Это объясняется тем, что $\bar{V}_{M+150}$ и $\Delta g_{\text{глуб}}$ являются адекватными параметрами, интегрально характеризующими скоростные и плотностные свойства верхней части мантии, тогда как значения граничных скоростей отражают упругие свойства лишь ее поверхности. Полученное уравнение регрессии вида $\bar{V}_{M+150} = a\Delta g_{\text{глуб}} + b$ было использовано для прогнозирования по $\Delta g_{\text{глуб}}$ значений $\bar{V}_{M+150}$ в тех районах, где они еще не были определены по сейсмическим данным. При определении этого уравнения регрессии были использованы результаты сейсмологических исследований строения верхней мантии, полученные в различных районах (рис. 1): по профилю Памир — Байкал⁽⁶⁾ протяженностью 3500 км, пересекающему такие крупные тектонические структуры, как Памир, Тянь-Шань, Алтай, Саяны и Байкальская рифтовая область, а также в пределах Курило-Камчатской зоны^(7, 8), Японских островов⁽¹⁰⁾, на Дальнем Востоке и на Кавказе (данные Н. В. Кондорской). Тот факт, что эти данные охватывают весьма крупные и довольно существенно различающиеся регионы, позволяет считать установленную корреляционную зависимость между параметрами $\bar{V}_{M+150}$ и $\Delta g_{\text{глуб}}$ статистически достаточно обоснованной и дает возможность использовать ее в районах, где еще не

проводились сейсмические исследования верхней мантии. Среднеквадратическое отклонение определенных по сейсмологическим данным значений $\bar{V}_{M+150}$ от осредняющего графика зависимости $\bar{V}_{M+150} = a\Delta g_{\text{глуб}} + b$ равно $\pm 0,12$ км/сек. При некоторых допущениях, подробно рассматриваемых в математической статистике, эта величина может служить оценкой погрешности прогнозирования $\bar{V}_{M+150}$ по значениям $\Delta g_{\text{глуб}}$.

На основании данных $\bar{V}_{M+150}$ и экспериментально установленной зависимости между плотностью и скоростью (^{14, 15}) были примерно оценены значения средней плотности исследуемой толщи верхней мантии ($\bar{\sigma}_{M+150}$). Они варьируют в пределах от 3,2 до 3,4 г/см³.

Анализ распределения $\Delta g_{\text{глуб}}$, $\bar{V}_{M+150}$, $\bar{\sigma}_{M+150}$ и V_r^M показал, что в пределах территории СССР в верхней части мантии достаточно уверенно выделяется ряд крупных зон (рис. 1), существенно различных по своим физическим свойствам. Эти неоднородности прослеживаются до глубин не менее 150—200 км. Байкальская рифтовая область по сейсмологическим данным и результатам исследований ГСЗ характеризуется пониженными значениями скоростных параметров верхней мантии ((⁶), табл. 1), что позволило выделить ее в качестве зоны разуплотнения вещества верхней мантии, несмотря на полученные здесь значения $\Delta g'_{\text{глуб}}$ равные -50 мгл, т. е. соизмеримые с величиной возможной ошибки их определения.

Отдельные выделенные блоки также не полностью однородны, в их пределах происходит изменение различных физических параметров с глубиной и в ряде случаев — в горизонтальном направлении. В табл. 1 приведены значения $\Delta g_{\text{глуб}}$ и некоторых скоростных и плотностных параметров верхней части мантии для наиболее крупных блоков, показанных на рис. 1 (порядковые номера в таблице соответствуют номерам блоков на рис. 1).

Из рассмотрения рис. 1 и табл. 1 видно, что соотношение между особенностями выделенных зон верхней мантии и структурами земной коры носит сложный и неоднозначный характер.

Поступило
1 X 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Н. А. Беляевский, В. З. Рябой, ДАН, 186, № 2 (1969). ² С. В. Archambeau, E. A. Flinn, D. G. Lambert, J. Geophys. Res., 74, 25 (1969). ³ P. Giese, Proc. of the X Assembly of the E.S.C., 1, Moscow, 1970. ⁴ Ю. П. Непрочнов, Л. Н. Рыкунов, ДАН, 194, № 1 (1970). ⁵ Н. Н. Матвеева, В. З. Рябой, М. И. Разинкова, Тез. докл. II Всесоюз. совещ. по изучению земной коры и верхней мантии Земли методами сейсмологии взрывов, 1969. ⁶ А. С. Алексеев, М. М. Лаврентьев и др., Сборн. Математические проблемы геофизики, в. 2, «Наука», 1971. ⁷ С. А. Федотов, Л. В. Славина, Физика Земли, № 2 (1968). ⁸ Р. З. Тараканов, Н. В. Левый, Сборн. Глубинное строение Дальнего Востока по геофизическим данным, «Наука», 1967. ⁹ I. Ansoorge, D. Mayer-Rosa, Proc. of the X Assembly of the E.S.C., 1, Moscow, 1970. ¹⁰ Kanamori Hiroo, Phys. Earth and Planet Inter., 3, 475 (1970). ¹¹ А. А. Борисов, Глубинная структура территории СССР по геофизическим данным, 1967. ¹² Н. А. Беляевский, А. А. Борисов, И. С. Вольвовский, Сов. геол., № 11 (1967). ¹³ М. Е. Артемьев, Сборн. О связи поверхностных структур земной коры с глубинными, Киев, 1970. ¹⁴ F. Birch, J. Geophys. Res., 57 (1964). ¹⁵ М. П. Воларович, А. И. Левыкин, Н. Е. Галдин, ДАН, 157, № 6 (1964).