

Ю. А. БУРМАКОВ, А. В. ЕГОРКИН, Е. А. ПОПОВ,
В. З. РЯБОЙ

СТРОЕНИЕ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ СЕВЕРО-ВОСТОЧНЫХ РАЙОНОВ ЕВРОПЕЙСКОЙ ПЛАТФОРМЫ ПО СЕЙСМИЧЕСКИМ ДАННЫМ

(Представлено академиком М. А. Садовским 29 IV 1975)

Для изучения строения земной коры и верхней мантии на северо-востоке Европейской платформы выполнены исследования методом глубинного сейсмического зондирования (ГСЗ) по профилю Кинешма — Воркута протяженностью 1500 км, пересекающему с юго-запада на северо-восток структуры Московской синеклизы, Тиманского кряжа и Печорской синеклизы. На этом профиле впервые при проведении глубинных исследований методами взрывной сейсмологии получена корреляционно увязанная система детальных встречных и нагоняющих годографов сейсмических волн длиной до 1000—1500 км, что позволило построить по линии профиля сейсмический разрез как земной коры, так и верхней мантии до глубины 150—180 км.

Скоростной разрез земной коры построен по материалам регистрации преломленных, отраженных от поверхности Мохоровичича M и обменных волн (рис. 1В) с использованием общепринятой в ГСЗ методики интерпретации. Глубина залегания поверхности консолидированной коры K изменяется от выходов ее на поверхность в районе Тиманского кряжа до 2—3 и 8—10 км в Московской и Печорской синеклизах соответственно. Мощность земной коры на рассматриваемом профиле изменяется в пределах 35—40 км.

Рефрагированные в верхней мантии волны $P_{пр}^M$ (в сейсмологии обозначаются индексом P_{-}) регистрируются в области первых вступлений, начиная с удалений от пунктов взрыва 160—200 км. Значения их кажущихся скоростей изменяются в пределах от 7,8—8,0 до 8,8—9,0 км/сек, медленно увеличиваясь с расстоянием. Годографы волн $P_{пр}^M$ имеют сложную структуру (рис. 1А), их характерными чертами является наличие петель годографа, нередко наблюдаемое затухание первых волн и смещение удаленной ветви годографа на большие времена; выделяются отдельные участки годографа с аномальным увеличением и понижением кажущейся скорости и др. На графиках изменения амплитуд волн $P_{пр}^M$ с расстоянием $A(\bar{R})$ на фоне относительно слабого затухания амплитуд отмечаются области резких максимумов и минимумов. Установленные особенности кинематических и динамических характеристик волн $P_{пр}^M$ свидетельствуют о сложном немонотонном характере распределения скоростных параметров верхней мантии, в частности, о возможном наличии областей увеличения и понижения значений скорости распространения волн или ее градиента.

Изменение строения земной коры вдоль линии профиля оказывает значительное искажающее влияние на годографы волн $P_{пр}^M$. В связи с этим для повышения достоверности результатов построения скоростной модели верхней мантии годографы волн $P_{пр}^M$ были пересчитаны к выровненной подошве земной коры (к уровню 40 км).

Методика пересчета годографов подробно рассмотрена в (1). Ее опробование на теоретических моделях, а также оценка погрешностей пересчета,

обусловленных возможными ошибками в измерении кажущихся скоростей и в определении параметров земной коры, показали, что при проведении глубинных сейсмических исследований по применявшейся методике годографы волн $P_{\text{пр}}^M$, приведенные к подошве земной коры, определяются с ошибкой, в среднем равной $\pm(0,4-0,5)$ сек.

В результате такой трансформации получена система встречных и падающих годографов волн $P_{\text{пр}}^M$, исправленных за влияние неоднородно-

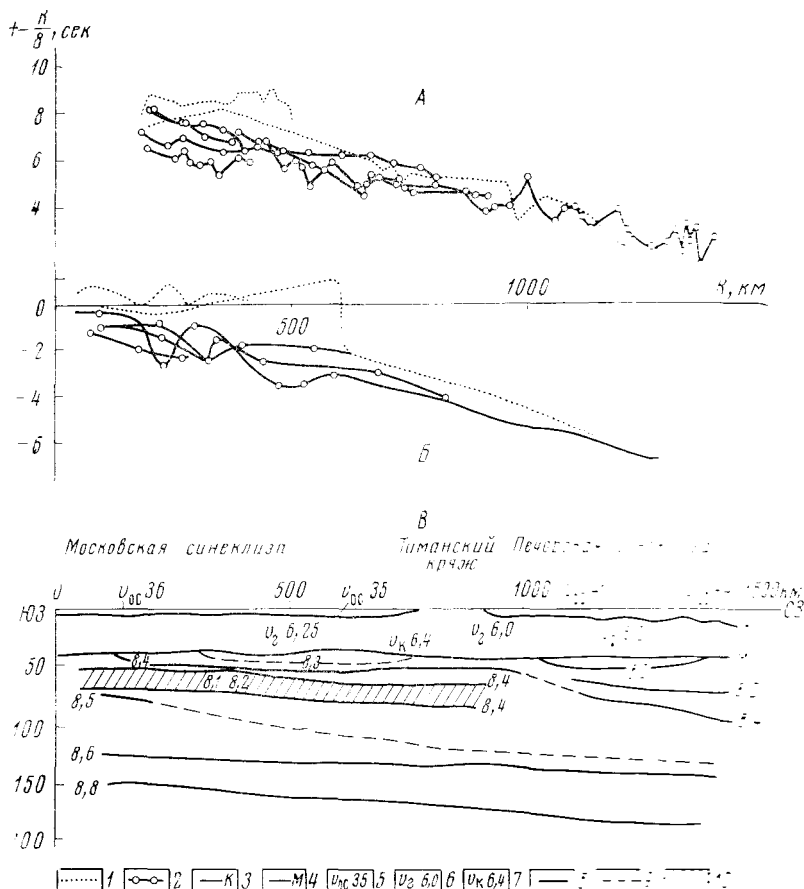


Рис. 1. Сопоставление наблюдаемых (А) и пересчитанных к выровненной границе М (В) годографов первых вступлений мантийных волн $P_{\text{пр}}^M (P_n)$ с сейсмическим разрезом земной коры и верхней мантии (В) по профилю Кинешма – Воркута. 1, 2 – годографы волн $P_{\text{пр}}^M (P_n)$, соответствующие Печорской (1) и Московской (2) синеклизам; 3 – поверхность консолидированной коры; 4 – граница Мохоровичича (подошва земной коры); 5 – средняя скорость в осадочных отложениях (значения увеличены в 10 раз); 6 – граничная скорость на поверхности складчатого фундамента; 7 – средняя скорость в консолидированной толще коры; 8 – изолинии скорости распространения волн в верхней мантии по уверенным данным; 9 – то же по неуверенным данным; 10 – слой пониженных скоростей в верхней мантии (на разрезе значения скоростей распространения продольных волн указаны в км/сек)

стей строения земной коры. Сравнение этих годографов показало, что различие между ними при одинаковых удалениях от источника достигает 2,0–2,5 сек. и значительно превышает вероятную погрешность пересчета (рис. 1В). Это указывает на наличие в верхней мантии в пределах профиля существенных горизонтальных скоростных неоднородностей. Годогра-

фы, соответствующие северо-восточной части профиля, характеризуются — по сравнению с его юго-западной частью — более высокими значениями времен пробега волн $P_{\text{пр}}^M$. Наибольшие различия времен отмечаются на удалениях до 600 км, что свидетельствует о наличии в самой верхней части мантии наиболее существенных горизонтальных скоростных неоднородностей.

Построение скоростного разреза верхней мантии осуществлялось способом перебора на ЭВМ решений прямых кинематических задач для скоростных моделей, неоднородных в вертикальном и горизонтальном направлениях, по методике, описанной в (2). Задача заключалась в том, чтобы в заданной исходя из геофизических соображений области существования сейсмических параметров определять совокупность скоростных разрезов, для которых расхождение между теоретическими и экспериментальными годографами в среднем не превосходит точности последних. Динамические характеристики волн использовали при интерпретации путем качественного сопоставления экспериментальных амплитудных графиков $A(R)$ с изменением плотности сейсмических лучей.

Возможные решения поставленной задачи найдены среди наиболее простых моделей строения среды. Исследовано более 10 двумерных скоростных моделей, из которых только для двух достигнуто совпадение теоретических и экспериментальных данных. Обе эти модели содержат слой с пониженной скоростью в верхней части мантии и различаются только параметрами этого слоя: мощностью и величиной отрицательного перепада скорости. Точность определения значений скоростных параметров верхней мантии, оцененная расчетным путем, примерно равна $\pm(0,1-0,2)$ км/сек.

На рис. 1В приведен осредненный по прошедшим моделям скоростной разрез верхней мантии, согласующийся количественно с годографами волн $P_{\text{пр}}^M$ и качественно с графиками $A(R)$. Из рассмотрения рис. 1В видно, что при переходе от Московской синеклизы к Печорской происходит существенное изменение скоростного строения верхней мантии. В пределах северо-восточных районов Московской синеклизы скорость распространения продольных волн в верхней мантии увеличивается в среднем от 8,3—8,4 км/сек на границе M до 8,6—8,8 км/сек на глубине 150—180 км. Возрастание скорости происходит неравномерно, выделяются зоны повышенных и пониженных значений градиента скорости. В диапазоне глубин от 50—60 до 80—90 км выделен несколько погружающийся в северо-восточном направлении слой пониженных скоростей. В соответствии с годографами волн $P_{\text{пр}}^M$ находится также модель с более резким и менее мощным волноводом. Полученные экспериментальные материалы не позволяют однозначно решить вопрос о наличии или отсутствии аналогичного волновода в пределах Печорской синеклизы, где верхняя часть мантии характеризуется в среднем на 0,2—0,4 км/сек более низкими значениями скоростей. Различия в скоростном строении верхней мантии рассматриваемых структур уменьшаются с глубиной. Изменение значений скоростных параметров верхней части мантии вдоль линии профиля, по крайней мере до глубин не менее 80—100 км, происходит не постепенно, а сравнительно быстро на участке, соответствующем Тиманскому краю.

Отметим, что рассматриваемые структуры Европейской платформы характеризуются различной историей геологического развития. Так, переход от Московской синеклизы к Печорской сопровождается уменьшением возраста пород складчатого фундамента от архея и протерозоя до рифея (3).

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что различия в строении Московской и Печорской синеклиз прослеживаются как в земной коре, так и в верхней мантии. Последнее указывает на глубинный характер заложения этих геотектонических структур и расположенного на их стыке Тиманского края, а также, вероятно, свидетельствует о влиянии происходящих в верхней мантии процессов на особенности

развития земной коры. Выполненными исследованиями также показано наличие весьма контрастных горизонтальных скоростных неоднородностей не только в тектонически активных горно-складчатых областях, как это ранее было установлено по сейсмологическим данным ((⁴⁻⁶) и др.), но и в пределах древних платформенных структур.

Всесоюзный научно-исследовательский
институт геофизических методов разведки

Поступило
16 IV 1975

Специальная опытно-методическая
геофизическая экспедиция
треста «Спецгеофизика»
Москва

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ В. З. Рябой, Л. В. Егорова, Сб.: Разведочная геофизика. в. 53. М., «Недра», 1974, стр. 22. ² Ю. А. Бурмаков, В. З. Рябой, Сб.: Вычислительные и статистические методы интерпретации сейсмических данных. Вычислительная сейсмология, в. 6, М., «Наука», 1973, стр. 218. ³ Н. А. Беллевский, Земная кора в пределах территории СССР, М., «Недра», 1974. ⁴ А. С. Алексеев, М. М. Лаврентьев, П. Т. Нерсисов и др., Сб.: Математические проблемы геофизики, в. 2, «Наука», 1971, стр. 143. ⁵ И. Л. Нерсисов, А. В. Николаев, Е. Н. Седова, ДАН, т. 207, № 4, 846 (1972). ⁶ Л. П. Винник, А. А. Лукк, ДАН, т. 243, № 3, 580 (1973).