

Работы студентов

УДК 550.834

**ОДНОМЕРНЫЕ СКОРОСТНЫЕ МОДЕЛИ ЛИТОСФЕРЫ КАМЧАТКИ**

© 2004 г. З. А. Назарова

*Камчатский государственный педагогический университет  
Петропавловск-Камчатский, 683032, Пограничная, 4; e-mail: nio@kgpu.kamchatka.ru*

Анализируются существующие в настоящее время представления об одномерной скоростной модели литосферы Камчатки и оценивается влияние этой модели на положение гипоцентров землетрясений.

Полуостров Камчатка в межрегиональном плане относится к северному звену Тихоокеанского сейсмического пояса и характеризуется чрезвычайно высоким уровнем сейсмичности. Максимум сейсмичности сосредоточен в сейсмофокальном слое (фокальной зоне). Этот слой является пограничной структурой, разделяющий блоки земной коры и верхней мантии Азиатского континента и Тихого океана до глубины примерно 700км. Детальная характеристика сейсмичности и геометрии фокальной зоны приведена в работе (Федотов и др., 1985). Землетрясения регистрируются сетью сейсмологических станций, расположенных на полуострове, и по временам их вступлений при известной скоростной модели рассчитываются координаты гипоцентров землетрясений. Эти данные представлены в каталоге камчатских землетрясений, который составляется в КОМСП ГС РАН.

На точность определения координат гипоцентров влияет несколько факторов, в частности конфигурация сети наблюдений (количество станций и их расположение), качество регистрации вступлений волны и их количество, методы расчета гипоцентрии и наконец принятая скоростная модель. Речь здесь идет об одномерной скоростной функции  $V(H)$ , которая используется в настоящее время при расчете гипоцентрии. Каталог региональных камчатских землетрясений составляется на основе скоростной модели, приведенной в (Кузин, 1974) и разработанной программы гипоцентрии (Гусев, 1979). Данная скоростная модель (модель 1, рис. 1) была сконструирована исходя из данных гравиметрии о мощности земной коры и данных ГСЗ о скорости продольных волн в коре (Фотиади и др., 1963). Скорости в верхней мантии были приняты согласно данным по Южно-Курильской зоне (Федотов и др., 1963). Согласно этой модели среда представляется горизонтально-слоистой (рис. 1). Земная кора состоит из трех слоев: осадочного ( $H=5$ км,  $V_p=4.0$ км/сек),

гранитного ( $H=15$ км,  $V_p=5.8$ км/сек), базальтового ( $H=15$ км,  $V_p=6.7$ км/сек); средняя скорость в коре  $V_p=5.8$ км/сек. В мантии выделены два слоя: верхний мощностью 35-120км и скоростью  $V_p=7.8$ км/сек и нижний – 120-200км и 8.1км/сек соответственно. Автором было показано, что при малых расстояниях от очагов землетрясений (до 200км) даже при такой грубой аппроксимации среды искажения истинных координат гипоцентров будут получены в допустимых пределах (Кузин И.П. 1974). Вместе с тем, очевидно, что глубинное строение региона очень сложное и по мере накопления сейсмологических данных необходимо уточнение скоростной модели.

Разработке оптимальной одномерной скоростной функции для района Камчатки посвящен ряд работ – российских и зарубежных. Здесь остановимся на результатах, полученных в последние годы и использующих для восстановления скоростной модели методы сейсмической томографии. Существенным отличием этих работ от выполненных ранее является учет станционных задержек. Этот момент представляется важным, поскольку одномерная модель сама по себе является достаточно грубым приближением к истинному распределению скорости и учет особенностей среды под станциями вносит некоторые коррективы в скоростное строение по крайней мере верхней коры. В работе (Gorbatov и др. 1999) одномерная скоростная модель (модель 2, рис. 2) построена по методу, предложенному в (Roescker, 1982). Она представляется в виде горизонтально-слоистой среды с более детальным разбиением на слои по сравнению с принятой в работе (Кузин, 1974). Мощности слоев и скорости  $V_p$  в земной коре и верхней мантии приведены в таблице 1; сопоставление скоростных кривых показано на рис. 3.

При расчетах скоростных моделей методом сейсмической томографии широкое развитие получила программа VELEST (Kissling, 1988; Kissling, 2001). Она

Таблица 1. Мощности слоев и скорости  $V_p$  в земной коре и верхней мантии.

земная кора		верхняя мантия	
H, км	$V_p$ , км/с	H, км	$V_p$ , км/с
0 - 5	3.65	35 - 60	7.37
5 - 15	5.74	60 - 75	7.64
15 - 35	6.74	75 - 100	7.84
		100 - 160	8.00
		160 - 200	8.22

имеет ряд преимуществ по сравнению с другими, в частности, позволяет решать совместную задачу для модели и гипоцентров (1); рассчитывать стационарные задержки, позволяющие ввести поправки для верхних слоев модели (2); осуществлять совместный расчет скоростной модели для продольных и поперечных волн (3); в процессе счета оценивать вклад каждого использованного события в общую ошибку решения (4). Данная программа была использована для расчета зависимости скорости с глубиной в литосфере Камчатки (Nizkous и др., 2004). Согласно полученным данным одномерная модель (модель 3, рис.3) пред-

ставляется в следующем виде:  $H=0.1$  км,  $V_p=3.8$  км/сек и далее соответственно 2.0, 5.82; 10.0, 6.84; 20.0, 6.84; 30.0, 7.48; 40.0, 7.71; 50.0, 7.78; 60, 7.79; 70.0, 7.80; 80.0, 7.80; 90.0, 8.04; 120.0, 8.29; 150.0, 8.35.

Рис 1, 2, 3 иллюстрируют распределение сейсмических лучей и расчетные годографы первых вступлений волн от источников, расположенных на разных глубинах в земной коре для каждой из охарактеризованных здесь одномерных моделей. Они рассчитаны нами по программам (Пшенчик, 1983). Модели 1 и 2 достаточно близки по своим характеристикам, они представляют литосферу в виде горизонтально-слоистой среды с резкими границами раздела слоев, то есть скорость в каждом слое изменяется скачкообразно. В первые вступления выходят слаборефрагированные (головные) волны практически от всех слоев, отраженные волны наблюдаются в последующих вступлениях. Модель 3 отличается существенно, а именно среда представляется градиентно-слоистой и для отдельных слоев изменяется не значение скорости, а ее градиент. В средней коре и слое верхней мантии выделяются участки с относительно пониженной скоростью, что приводит к появлению каустик сейсмических лучей и

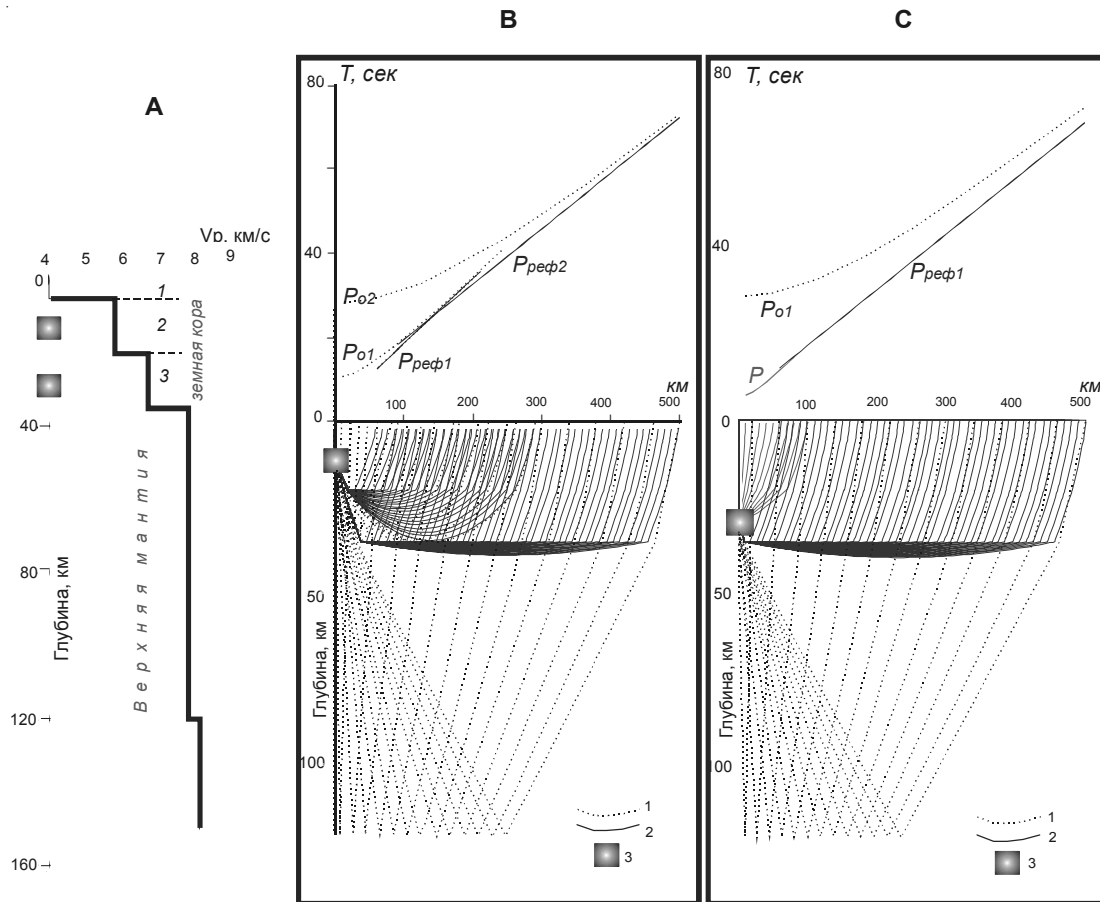
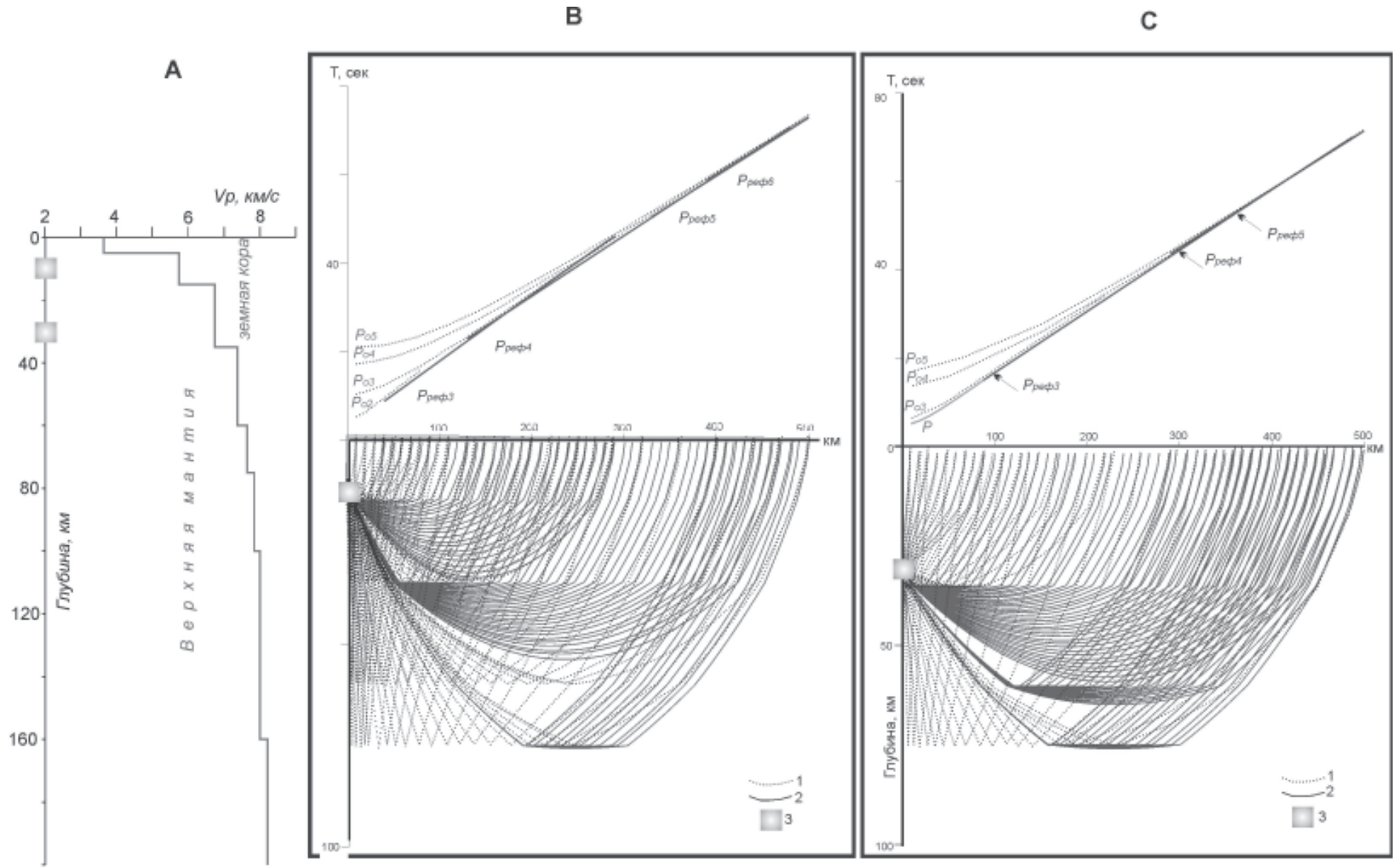
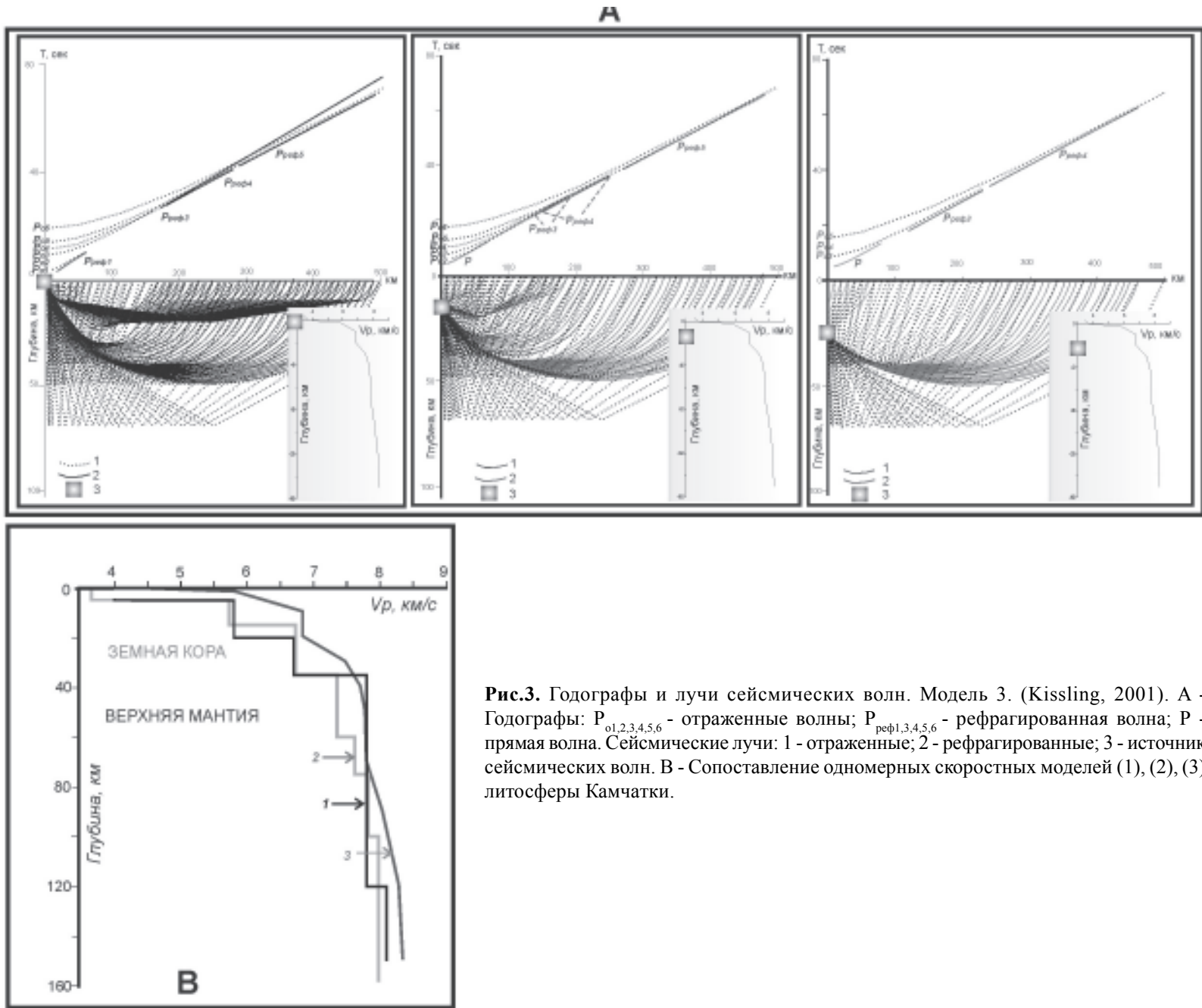
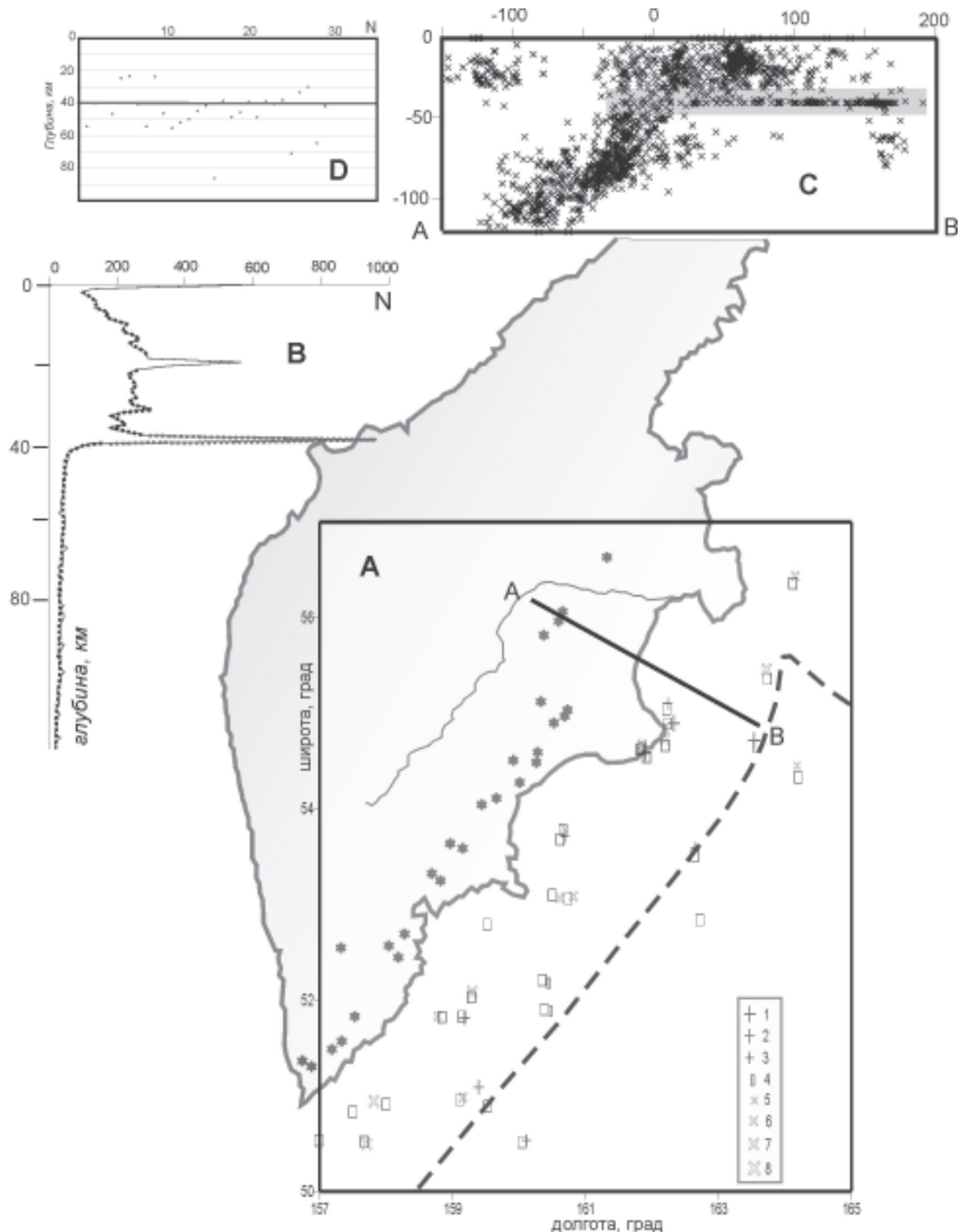


Рис.1. Годографы и лучи сейсмических волн. Модель 1. (Кузин, 1974). А - Одномерная скоростная модель среды. В, С - Годографы:  $P_{o1,2}$  - отраженные волны;  $P_{ref1,2}$  - рефрагированная волна; P - прямая волна. Сейсмические лучи: 1 - отраженные; 2 - рефрагированные; 3 - источник сейсмических волн.



**Рис.2.** Годографы и лучи сейсмических волн. Модель 2. (Gorbatov и др., 1999). А - Одномерная скоростная модель среды. В, С - Годографы:  $P_{02,3,4,5}$  - отраженные волны;  $P_{ref3,4,5,6}$  - рефрагированная волна; P - прямая волна. Сейсмические лучи: 1 - отраженные; 2 - рефрагированные; 3 - источник сейсмических волн.





**Рис.4.** А - Изменение координат гипоцентров с глубины 40км после перелокации:1-(20-30км); 2-(30-35км); 3-(35-40км); 4-(40км); 5-(40-45км); 6-(45-50км); 7-(55-60км); 8-(60-90км). В - График зависимости числа землетрясений от глубины. С - Распределение землетрясений в вертикальном сечении вдоль линии АВ (рис.4.А). D - Изменение глубины гипоцентров в результате перелокации по программе VELECT.

«выпадению» данных слоев из первых волн на годографах. Таким образом, эти так называемые «выпадающие слои» могут быть зарегистрированы только в последующих вступлениях (рис.3.).

Для некоторого количества землетрясений (453), которые использовались для расчета скоростной модели по программе VELEST, была осуществлена одновременная перелокация гипоцентров. Следует указать, что эти землетрясения выбирались исходя из требований к исходным данным для работы программы и имеют наилучшие характеристики в плане качества вступлений (P, S), количества фаз (зарегистрированы не менее чем 7-ю станциями), азимутального охвата. Координаты переопределенных эпицентров для этих землетрясений изменились не существенно ( $\pm 2-3$  км), столь же незначительны и изменения по глубине по сравнению с данными камчатского каталога. Это свидетельствует о высоком качестве данных каталога ОМСП ГС РАН.

При рассмотрении графика зависимости количества землетрясений с глубиной обращает на себя внимание значительное увеличение количества событий на уровне линии, глубина которой равна 40 км (рис.4). Представляется, что это может быть связано с выбором использованной скоростной модели. К сожалению, в работе (Gorbatov и др. 1999) не приведен результат перелокации землетрясений для модели 2. Однако нами предпринята попытка для небольшого количества землетрясений (30 штук) с глубиной 40 км и модели 3 переопределить координаты гипоцентров по программе VELEST. В результате показано, что координаты в частности глубина изменилась достаточно ощутимо – некоторые события до 10 - 20 км. Возможно, что большое количество гипоцентров (с глубиной 40 км в каталоге) и создаст некую закономерность в их расположении на глубине, однако они не будут относиться к одному уровню глубины, а именно 40 км.

### ВЫВОДЫ

1. Обобщены представления о существующих в настоящее время одномерных скоростных моделях литосферы Камчатки.

2. Рассчитаны сейсмические лучи и годографы для каждой из проанализированных скоростных моделей. Определены типы волн, которые могут быть зарегистрированы в первых вступлениях от источников разной глубины.

3. Показано, что при использовании различных скоростных моделей в случае высокого качества записей, удовлетворяющих ряду требований, координаты гипоцентров землетрясений изменяются незначи-

тельно по сравнению с данными камчатского каталога. Однако для случая землетрясений, которые отнесены в каталоге к глубине 40 км, эти изменения могут быть существенными.

Автор признателен д. ф-м наук А.В. Викулину и к.г-м наук Л.И. Гонтовой за помощь в выполнении данной работы и замечания по ее оформлению.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Гусев А.А. Определение гипоцентров близких землетрясений Камчатки на ЭВМ // Вулк. и Сейсм., 1979, №1, с. 74-81.

Кузин И.П. Фокальная зона и строение верхней мантии в районе Восточной Камчатки. М., Наука. 1974. 132с.

Федотов С.А., Кузин И.П. О скоростном разрезе верхней мантии в области южных Курильских островов // Изв. АН СССР, серия геофиз., 1963, №5.

Федотов С.А., Славина Л.Б. Оценка скоростей продольных волн в верхней мантии под северо-западной частью Тихого океана и Камчаткой // Изв. НА СССР, Физика Земли, 1968, №2.

Федотов С.А., Гусев А.А., Чернышева Г.В., Шумилина Л.С. Сейсмофокальная зона Камчатки ( геометрия, размещение очагов землетрясений и связь с вулканизмом) // Вулк. и сейсм., 1985, №4, с. 91-107.

Фотиади Э.Э., Каратаев Г.И. Строение земной коры Сибири и Дальнего востока по данным региональных геофизических исследований // Геология и геофизика, 1963, №10.

Пшеничник И. Программы для расчета кинематических и динамических параметров сейсмических волн. М. Наука, 1983.

Gorbatov A., Dominguez J., Suarez G., Kostoglodov V., Zhao D. and Gordeev E. Tomographic imaging of the P-wave velocity structure beneath the Kamchatka peninsula. // Geophys. J. Int. (1999) 137, 269-279.

Kissling E. Geotomography with local earthquake data. Res // Geophys., 26, 1988, 659-698.

Kissling E., Husen S., Haslinger F. Model parametrization in seismic tomography: a choice of consequence for the solution quality // Phys. Of the Earth and Planet. Int.. 123 (2001) 89-101.

Nizkous I., Gontovaya L., Kissling E., Sanina I. High-resolution approaches to Kamchatka seismic tomography. Geophys. Res. Abstracts, Vol. 6, 2004, EGU General Assembly 2004; Nice, France, 26-30 April; 1029 – 7006.

Roecker S. W. Velocity structure of Pamir-Hindu Kush region: possibly evidence of subducted crust // J. geophys. Res. (1982), 87, 945-959.

**One-Dimensional Velocity Models of the Kamchatka**

**Z. A. Nazarova**

*Kamchatka State Pedagogical University 683032, Petropavlovsk-Kamchatksky, Pogranichnaya street, 4; e-mail:  
nio@kgpu.kamchatka.ru*

It was analysed 1-D velocity models of Kamchatka and it was estimated the dependence of the earthquakes location from the models.