

**В.В. Гордиенко, Л.Я. Гордиенко**

Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев

## **СКОРОСТНАЯ МОДЕЛЬ ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПОД ОСТРОВНЫМИ ДУГАМИ И БЕРЕГОВЫМИ ХРЕБТАМИ ТИХОГО ОКЕАНА**

---

*По данным о временах прихода Р-волн от землетрясений под островными дугами и береговыми хребтами вокруг Тихого океана построены годографы на расстояниях до 25 градусов. Это позволило установить распределение скорости до глубин около 450—500 км. Установлена зона пониженных скоростей в верхней мантии от раздела Мохо до глубины около 150—200 км, в центральной части которой вероятно частичное плавление пород.*

***Ключевые слова:** скоростной разрез, мантия, астеносфера, островные дуги.*

### **Введение**

В статье приводятся результаты исследований, продолжающих начатые работой [6], где рассмотрены исходные данные, их обработка, интерпретация и геологическое приложение результатов построения скоростной (по Р-волнам) модели верхней мантии островных дуг северо-запада Тихого океана. Отличие заключается в использовании более представительного источника информации о временах прихода волн на сейсмостанции региона [23] и распространении отработанного подхода к гораздо большему числу островных дуг запада океана и береговым хребтам его восточной окраины. С точки зрения используемой авторами адвекционно-полиморфной гипотезы глубинных процессов в тектоносфере (АПГ) [5] геологическая история новых объектов идентична, можно ожидать и сходного скоростного разреза. Модели по изученным в [6] дугам (Алеутской, Курильской, Японской) были построены повторно на новом материале. Методики его отбора и обработки сохранены, их описание здесь не повторяется. То же можно сказать о построении расчетного годографа для модели первого приближения (результата осреднения данных, полученных ранее другими авторами) и подборе вида годографа, наиболее близкого к экспериментальным.

Отметим лишь, что расчетный годограф получен по программе SEIS-83 И. Пшенчика и В. Червени. Максимальные необхо-

© В.В. ГОРДИЕНКО, Л.Я. ГОРДИЕНКО, 2015

димые глубины проникновения лучей (до 500 км) достигаются на удалениях примерно  $23^\circ$  и временах пробега около 300с. Применялись только данные о землетрясениях, эпицентры которых располагались на островных дугах (частично — подводных). Глубины гипоцентров, привлеченных к анализу землетрясений, достигали 50—55 км, все они были пересчитаны на 30 км, что примерно соответствует глубине раздела Мохо под дугами и приморскими частями береговых хребтов. Поправки к временам прихода волн пересматривались по мере подбора скоростного разреза в диапазоне глубин между действительной глубиной очага (гипоцентра) и 30 км.

В коре по имеющимся сведениям было принято упрощенное распределение скорости в виде трех слоев со значениями на границах 0 км — 5,0; 10 км — 6,6; 20 км — 7,4; 30 км — 7,7 км/с и линейным изменением между ними. Естественно, принятая мощность и скоростной разрез коры — результат компромисса между данными разных авторов. В южных дугах допускалась некоторая коррекция разреза, заметно не влиявшая на результаты расчетов.

Ниже приведены результаты построения скоростных (для продольных сейсмических волн —  $V_p$ ) разрезов верхней мантии под островными дугами (Алеутской, Курильской, Японской, Идзу-Бонинской, Соломоновой, Новогвинейской, Тонга-Кермадек, Новозеландской, Филиппинской) на северной и западной окраинах Тихого океана и Суматранско-Яванской на восточной окраине Индийского, привлечены также данные, позволяющие оценить распределение  $V_p$  под частями Камчатки и Аляски, береговых хребтов северных, центральных Кордильер Северной и Мезо-Америк, северных, центральных и южных Анд.

Большинству рассмотренных структур в той или иной мере присуща нефтегазоносность, т.е. в случае выявления скоростной аномалии она в дальнейшем может быть использована как один из поисковых признаков района с месторождениями углеводородов.

## Используемый материал

Расположение сейсмостанций вокруг Тихого океана показано на рис. 1. Угловое расстояние между источниками колебаний и сейсмостанциями определялось по дистанции на поверхности, устанавливаемой из разницы координат [9]. Полученный результат переводился в угловые расстояния.

Были привлечены данные по сейсмостанциям: Колледж Аутпост (COLA), о. Адак (ADK) в США, Петропавловск-Камчатский (PET) и Южно-Сахалинск (YSS) в России, Мацуширо в Японии (MAJO), Гуам на Марианских островах (GUMO), Порт Морсби (PMG) и Хониара (HNR) в Папуа — Новой Гвинее, Афиамалу в Самоа (AFI), о. Рауль (RAO) и Южный Карори (SNZO) в Новой Зеландии, Кораллис (COR) и Таксон (TUC) в США, (JTS) в Коста-Рике, Лас Кампанас (LCO) и Ушуайа (USHA) в Чили, Кэмпбел Бей (CMBY) в Индии, Бали (BASI) и Лабуга (LBMI) в Индонезии, Нинченгчао (NACB) на Тайване (рис. 1). Дуги Явы и Суматры относятся к системе Индийского океана. Установленные в этих регионах параметры разреза не выделяются среди остальных. Поэтому можно предположить, что результаты характеризуют не только окраины Тихого океана. Другие островные дуги (Антильская, Скоша) и береговые хребты не имеют достаточной длины, т. е. непригодны для решения поставленной задачи в описанной постановке.

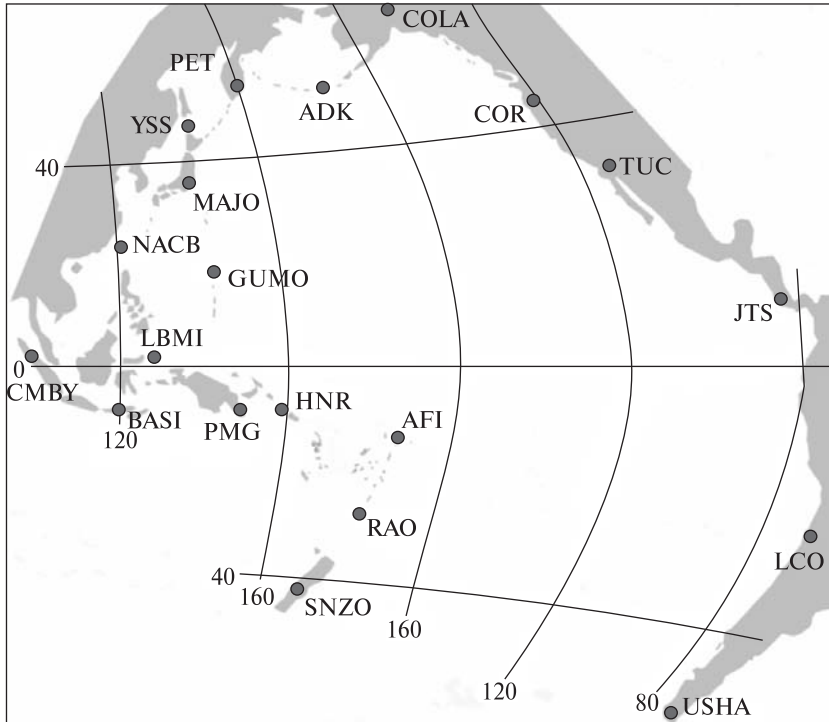


Рис. 1. Размещение использованных сейсмостанций

Таблица 1. Количество землетрясений, сведения о которых были использованы при построении годографов на сейсмостанциях

Станция и направление	N	Станция и направление	N
COLA → PET	1321	GUMO → MAJO	223
ADK → COLA	250	PMG → северо-запад	1011
ADK → PET	88	HNR → северо-запад	740
PET → COLA	678	AFI → RAO → SNZO	718
PET → MAJO	2091	RAO → AFI	86
MAJO → PET	1076	RAO → SNZO	156
YSS → MAJO → GUMO	782	SNZO → RAO → AFI	215
MAJO → GUMO	1005	SNZO → юг	83
COLA → COR	277	JTS → юг	562
COLA → COR → TUC	161	LCO → USHA	86
COR → TUC → JTS	932	USHA → LCO	974
CMBY + BASI	127	NASB → LBMI	579
LBMI → NASB	392		

Для построения наблюдаемых годографов в разных частях изучаемого полушария использовались заметно различающиеся количества данных (табл. 1).

Во всех случаях количество данных больше, чем использовано в работе [6], где на Алеутской, Курильской и Японской дугах привлечены сведения о примерно 100 землетрясениях. Для получения такого результата на станциях CMBY и BASI построен один наблюдаемый годограф, а не два встречных.

## Результаты расчетов.

Для удобства сопоставления расчетных и наблюдаемых годографов построены их редуцированные варианты для скорости продольных сейсмических волн в породах верхней мантии, равной 8,2 км/с (рис. 2). Осреднение наблюдаемых времен прихода волн проводилось в скользящем окне в 3°, резуль- тативная точка на годографе размещалась внутри окна с учетом изменяющейся «концентрации» наблюдаемых, единичное смещение окна составляло 0,4°.

Отклонения точек от осредняющей кривой кажутся неплохой характери- стикой погрешности наблюдаемого годографа. Часть материала, полученного при та- ких сравнениях, представлена на рис. 3. Среднее значение для всех рассмотренных годографов составляет около 2 с. Исключение — годограф AFI→RAO→SNZO, где отклонения от средней линии достигают 4 с.

Типичное значение отклонений не превышает полученных в других работах близкой направленности [19 и др.].

Согласно оценкам в работе [11] отклонение около 2 с может быть обуслов- лено только ошибкой в определении планового положения эпицентра землетря- сения при реальной погрешности информации об одномерной скоростной мо- дели региона, используемой для расчета параметров очага.

Для дуги Тонга (где отклонения точек на годографе от осредняющей кривой резко отличаются от остальных) построен редуцированный экспериментальный годограф с использованием максимально возможного количества данных. Рас- пределение времен прихода волн позволяет наглядно представить причины мак- симальных среди всех других годографо отклонений. Создается впечатление на- личия двух массивов данных. По одному (для больших времен прихода) можно построить годограф, довольно близкий к типичному (но все же не совпадающий с ним). Отвечающий ему скоростной разрез согласуется с типичным в нижней половине верхней мантии, близок к нему в самых верхних ее горизонтах и харак- теризуется повышенной скоростью (на 0,10—0,15 км/с) в средней части изучае- мого интервала глубин. Второй массив заметно отделен от первого, по нему можно построить годограф высокоскоростной верхней мантии, но едва ли это следует делать, так как происхождение его непонятно.

Наблюдаемые годографы представлены на рис. 4, 5. Они строились начиная с углового расстояния около 30°, так как на меньших резко увеличивался разброс экспериментальных данных. Возможно, сказывалась неоднородность земной коры или самых верхних горизонтов мантии.

В соответствии с установленной величиной погрешности можно оце- нивать результаты сравнения наблю- денных и расчетных годографов. Ва- риации результатов расчета, выра- женные в разнице времен при раз-

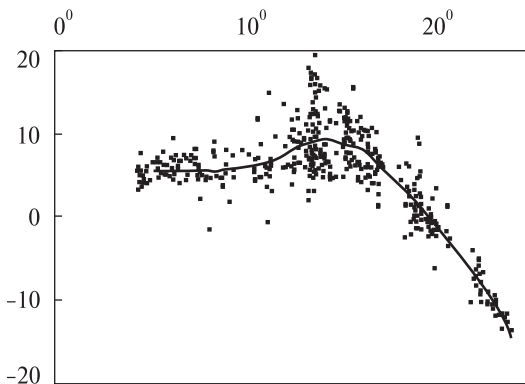
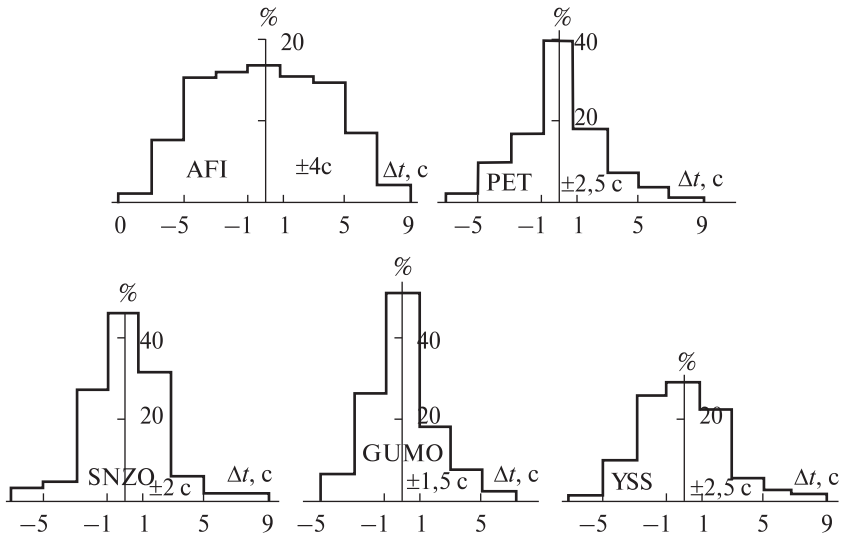


Рис. 2. Редуцированный наблюдаемый го- дограф для одной из станций (PET→COLA) в изучаемом регионе



**Рис. 3.** Примеры гистограмм распределений отклонений времен прихода волн на сейсмостанции от средних годовграфов

личных скоростных разрезах, существенно меняются с глубиной вносимых изменений. Чтобы не пропустить скоростных аномалий, будем считать заметными различиями расчетных и наблюдаемых годовграфов все, превосходящие 2 с. Хотя не все фиксируемые при этом скоростные аномалии (отвечающие отличиям от подобранного расчетного годовграфа) могут быть признаны достоверными.

На рис. 6 показан редуцированный расчетный годовграф, подобранный под большую часть наблюдаемых, отвечающий ему скоростной разрез верхней мантии и некоторые лучи распространения сейсмических волн. Последние показывают причину раздвоения годовграфов на значительных угловых расстояниях. Наблюдаемый годовграф строится, естественно, без учета этого раздвоения, осредняются все времена распространения волн, отвечающие одному угловому расстоянию. Поэтому при сравнении следует учитывать обе ветви расчетного годовграфа. Большинство наблюдаемых годовграфов удовлетворительно согласуются с расчетным, т.е. можно утверждать, что типичный скоростной разрез верхней мантии изучаемых островных дуг и береговых хребтов соответствует приведенному на рис. 6.

Существенные коррективы можно было бы внести только в разрез для дуги Тонга. Построенная для этого случая простая двумерная модель включала типичный скоростной разрез верхней мантии для южной части дуги (примерно между станциями SNZO и RAO) и разрез с существенно более высокими скоростями продольных волн между станциями RAO и AFI. На глубинах около 50—200 км скоростная аномалия достигала 0,2—0,3 км/с. Впрочем, достоверность такой модели неясна: ведь именно годовграф AFI → RAO → SNZO построен с максимальной погрешностью около 4 с. Отклонения от годовграфа для типичного скоростного разреза лишь на небольшом отрезке превышают эту величину. И все же едва ли дело сводится к обычной, пусть и повышенной, погрешности в построении наблюдаемого годовграфа: отклонения от расчетного сохраняют знак на значительной части его длины.

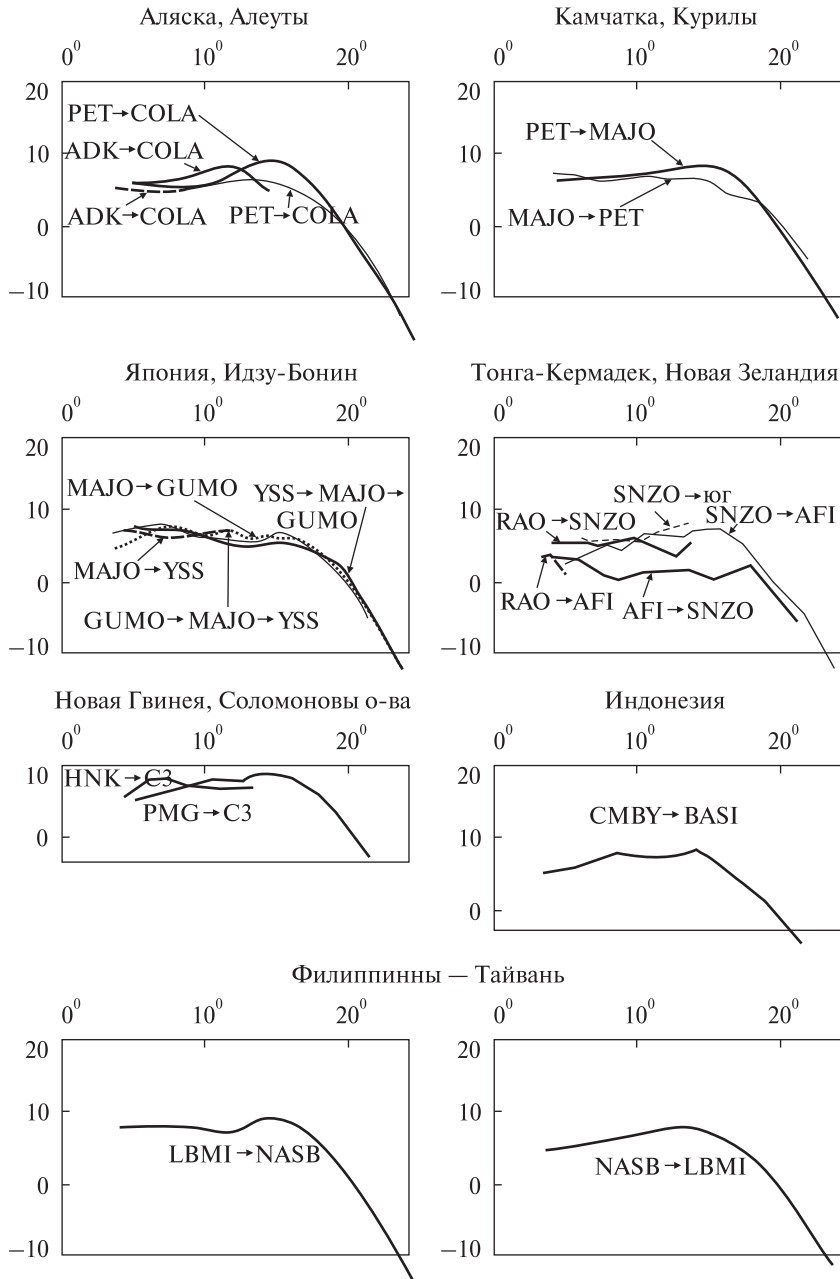


Рис. 4. Редуцированные наблюдаемые годографы на сейсмостанциях на западной окраине Тихого океана

Менее значительная аномалия по сравнению с типичным годографом обнаруживается в мантии под Камчаткой. В частях наблюдаемых годографов PET → → COLA и PET → MAJO наблюдаются отличия от расчетного, для устранения которых под Камчаткой необходимо ввести понижение скорости примерно на 0,15 км/с на глубинах около 100—200 км. Примерно такой же объект можно предположить под Новой Гвинеей.

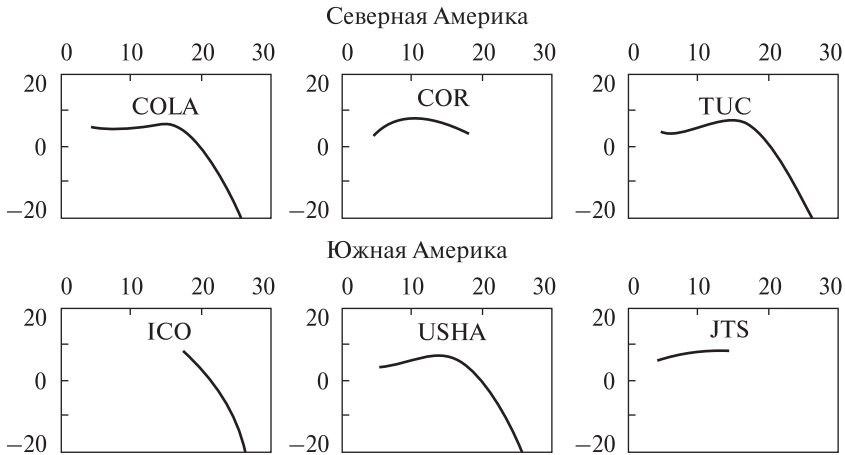


Рис. 5. Редуцированные наблюдаемые годографы на сейсмостанциях на восточной окраине Тихого океана

Гистограмма распределения отличий наблюдаемых годографов от расчетного ( $t_{\text{набл.}} - t_{\text{расч.}}$ ) без учета данных по дуге Тонга (рис. 7).

Очевидно, что типичное различие годографов полностью объясняется погрешностью исходного материала: небольшие аномалии размером в 0.10–0.15 км/с, которым отвечают различия времен пробега волн 2–3 с, мало распространены. Таким образом, единственной проблемой согласования наблюдаемых и расчетного годографа остается район дуги Тонга.

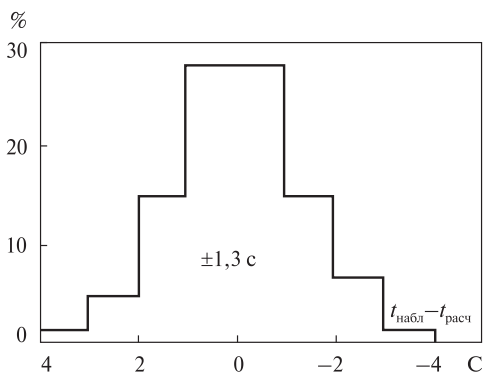
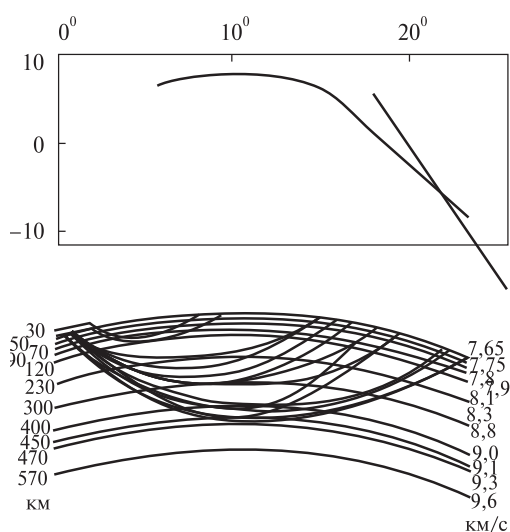
## Обсуждение результатов

Подобранный скоростной разрез отличается от исходного, но не принципиально. В пределах большей части верхней мантии различия составляют 0–0,15 км/с и только на глубинах около 150 км достигают 0,3 км/с. Отличия рассчитанной модели от полученной авторами ранее [6] еще менее значительны, но все же вполне заметны.

Сравним полученную скоростную модель с рассчитанными другими авторами для островных дуг западной части Тихого океана и береговых хребтов его восточной окраины (рис. 8).

Среди моделей, которые сравниваются с полученной нами, часть едва ли заслуживает обсуждения. Модели 5–7 представлены в верхней части мантии столь высокими значениями скорости, что никак не могут соответствовать зоне частичного плавления в этом интервале глубин. Для регионов с весьма активным современным магматизмом это неприемлемо. Модель 3 (и, частично, — 8 и 9), напротив, приписывает этому интервалу глубин столь низкие скорости, что их можно объяснить только очень высокой концентрацией магмы, скорее всего, превышающей предел сегрегации. Существование таких объектов также представляется маловероятным. Модели 2 и 4 вполне реалистичны и существенно не отличаются от построенной в данной работе. Именно они, в отличие от указанных выше, получены с использованием значительного экспериментального материала.

Построение прогнозной скоростной модели островных дуг согласно адвекционно-полимофной гипотезе базировалось на представлении о геосинкли-



**Рис. 6.** Редуцированный расчетный годограф, отвечающий подобранному скоростному разрезу

**Рис. 7.** Гистограмма распределения отличий наблюдаемых годографов от расчетного

нальном характере глубинных процессов в тектоносфере этих регионов [5]. Все рассмотренные геосинклинали молодые, позднеальпийские. В этот период небольшое изменение возраста складчатости (и мантийного теплопереноса) может привести к заметным изменениям расчетных глубинных температур и, следовательно, скоростей.

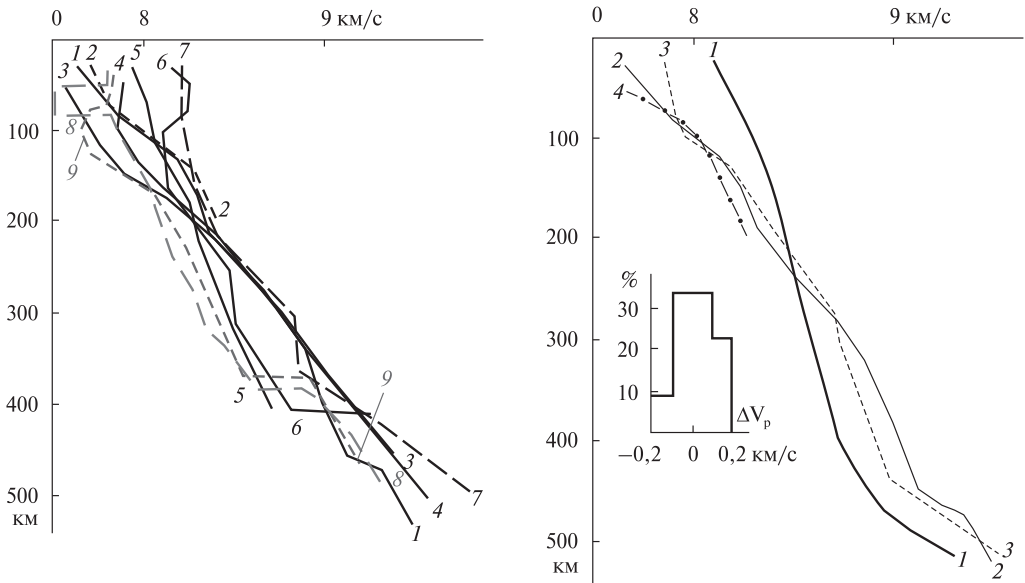
Кроме того, влияние на тепловую модель оказывает и современная (постгеосинклиальная) активизация, происходящая не по всей территории дуг [3]. Перечисленные явления изучены далеко не повсеместно. Поэтому были построены несколько вариантов тепловых моделей, пересчитаны в скоростные и осреднены. Ни в одном из интервалов глубин разница между осредненным распределением и каким-либо из осредняемых не достигала 0,1 км/с, т. е. всегда была в пределах погрешности построения скоростной модели, отвечающей экспериментальным годографам (рис. 9).

Отличия прогнозной модели от расчетной иллюстрирует гистограмма на рис. 9. Очевидно, что они не превышают обусловленных ошибками экспериментальных данных, т. е. эти независимо полученные модели согласуются.

Сравнение модели мантии дуги и докембрийской платформы показывает, что полученное распределение скорости отвечает адвекционному перемещению мантийного вещества, охватившему также и кору. Сопоставимая аномальность (отличие от скоростного разреза под докембрийской платформой) в верхней половине верхней мантии (и, предположительно, в коре) и нижней половине (примерно той же мощности) указывает на очень молодой возраст теплопереноса: энергия, доставленная адвективным перемещением в верхнюю часть разреза, еще не вынесена в значительной мере через поверхность.

В настоящее время нагрев и охлаждение единицы объема верхнего и нижнего этажа теплопереноса (проявляющиеся в скоростных аномалиях разного знака) различаются всего примерно на 10—15%. Неглубоко под корой располагается слой частичного плавления (значения скорости меньше, чем отвечающие температуре солидуса).



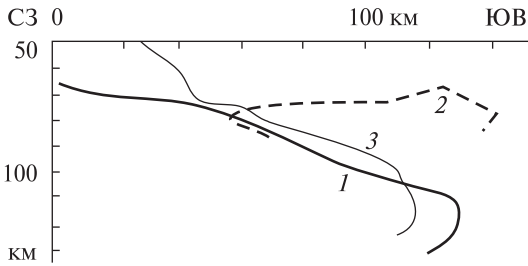


**Рис. 8.** Сравнение полученной скоростной модели островных дуг и береговых хребтов с данными других авторов; 1 — модель, полученная в данной работе, 2 — средняя модель для Восточной Камчатки [3, 12], 3 — Курилы [1], 4 — Курилы [15, 16], 5 — Хоккайдо [24], 6 — Япония, Курилы [20], 7 — островные дуги [22], 8 — Калифорния [25], 9 — Кордильеры [18]

**Рис. 9.** Сравнение полученной скоростной модели верхней мантии островных дуг и береговых хребтов с построенными по представлениям АПП; 1 — распределение скорости в верхней мантии докембрийской платформы, 2 — распределение, построенное в данной работе, 3 — прогнозная скоростная модель для верхней мантии альпийской геосинклинали по АПП, 4 — распределение скорости продольных сейсмических волн на линии солидуса мантийных пород (для концентрации жидкости на уровне 1 %)

Адвекционный характер теплопереноса при формировании слоя частичного плавления в верхних горизонтах мантии дуги в принципе подтверждается петрологическими данными: «породы... позднекайнозойского... возраста, распространенные в ... зрелых островных дугах .. такой фации глубинности не могли содержать таких количеств некогерентных элементов ... даже при развитии процессов зонного плавления или избирательного флюидного выщелачивания. Поэтому представляется более обоснованным предположить привнос в зоны селективного плавления верхней мантии... пластического вещества с гораздо более значительных глубин» [2, с. 300—301].

Наиболее важным элементом скоростного разреза мантии островных дуг, который может быть проконтролирован независимыми данными, представляется неглубокая астеносфера. Следует, однако, учитывать, что в каждом из изучаемых регионов глубина кровли астеносферы существенно меняется в зависимости от близости к краю активного объекта, расположения зон современной активизации и т.п. Например, под Восточной Камчаткой при использовании не осредненной модели, а скоростных разрезов вдоль профилей в разных ее частях (нуль пикетов на профилях совпадает со Срединным хребтом Камчатки) обнаруживаются весьма существенные вариации глубины скоростной границы,



**Рис. 10.** Расположение кровли астеносферы по сейсмологическим данным под Восточной Камчаткой [3, 4 и др.]: 1 — юг, 2 — центр, 3 — север

характерной для солидуса (рис. 10). Очевидно, что очаги молодого магматизма, приуроченные к кровле астеносферы, могут располагаться на глубинах от 50 до 110 км.

Немногочисленные данные глубинной геоэлектрики указывают на расположение кровли проводящего слоя под Сахалином на 50–80 км (в другом варианте интерпретации слой располагается в интервале глубин — 80–120 км), под южными Курилами — 70–80 км, под северными Курилами — 50–70 км, под Камчаткой — в интервале глубин 70–110 км [10, 16].

По петрологическим данным под Камчаткой молодые магматические очаги распространены на глубинах 30–40 км, но кроме того — на 60–80 км и глубже (до 120–160 км). Магмы Курильских островов формируются в очагах глубиной от 25 до 40–60 км [16]. По данным работы [17] очаги плавления, из которых на поверхность поступили молодые лавы Камчатки, располагаются в интервале глубин от 70±10 до 140±20 км.

Используя одну из методик определения глубины и температуры магматических очагов из работ [7, 8 и др.] по концентрации окислов алюминия и магния в породах мантийного происхождения, установим этот параметр для островных дуг и сходных с ними образований на окраинах континентов. В качестве источников информации о составах применялись в основном данные из работ [14, 21 и др.]. Полученные значения глубины приведены в табл. 2. Отметим, что полученные температуры полностью согласуются с тепловой моделью геосинклинали на стадии активизации, по которой был построен скоростной разрез.

Результаты расчетов показывают, что очаги определенно концентрируются в диапазоне глубин, обнаруженном при построении скоростного разреза островных дуг. Это полностью соответствует представлениям АПГ: инициальный магматизм геосинклиналей имеет гораздо более глубокие источники (200–220 км и около 150 км) и только на среднем и завершающем этапах развития геосинклинали очаги приближаются к подкоровым глубинам 100 и 50 км [5]. Современная

**Таблица 2.** Глубины очагов молодого и современного магматизма в мантии островных дуг

Регион	Глубины очагов, км	Регион	Глубины очагов, км
Аляска	55–100	Бонинская и Марианская дуги	55–85
Алеуты	55–105	Австралийские о-ва	50–90
Командоры	55–100	Фиджи	50–95
Корякия	55–90	Тонга-Кермадек	50
Камчатка	55–90	Новая Британия	55–85
Курилы	55–95	Соломоновы о-ва	55–85
Сахалин	50–100	Новая Зеландия	65–100
Хонсю, Рюкю	50–90	Антильская дуга	50–90
Филиппины	50	Дуга Скотия	85

постгеосинклиальная активизация использует астеносферу, сформированную именно в конце цикла.

В целом скоростной разрез верхней мантии под изученными островными дугами и береговыми хребтами неплохо согласуется с прогнозным, отражающим тепловые результаты недавнего теплопереноса согласно АПГ. В самой нижней части разреза высокий вертикальный градиент  $V_p$  может отражать начало полиморфного преобразования мантийного оливина. Если интерпретировать эту аномалию как следствие резкого понижения температуры после последнего акта адвекционного теплопереноса, соответствующее возмущение  $T$  окажется на уровне 800 °С. Такая аномалия нереальна, так как намного превышает отличие нормальной платформенной температуры от РТ-условий начала трансформации  $\alpha$ -оливина в  $\beta$ -оливин. Впрочем, на таких глубинах скоростная модель довольно неопределенна: ее заметные изменения мало сказываются на расчетном годографе.

## **Выводы**

Построение скоростных моделей верхней мантии островных дуг западной и береговых хребтов восточной окраин Тихого океана проведено после целого ряда подобных исследований, выполнявшихся в этом (одном из самых изученных) районах Мирового океана в течение многих десятилетий. Полученные данные позволили предпочесть вариант разреза без резкого скачка скорости на глубине несколько больше 400 км, довольно распространенный среди опубликованных моделей [13, 16, 17 и др.]. Выявлена значительная по мощности астеносфера — слой частично расплавленных пород мантии с небольшим (примерно до 2%) содержанием жидкой фазы. В районах современной активизации островных дуг и хребтов возможно практически полное отсутствие расплава в астеносфере. В нижней половине верхней мантии явно находится мощный интервал глубин с аномально холодными породами, степень их охлаждения на 400—450 км достаточна для начала полиморфного преобразования оливина.

Построенный скоростной разрез мало изменяется от региона к региону. Это позволяет утверждать, что полученная модель представляет собой стандартное (типичное) распределение  $V_p$  в мантии регионов с данным типом эндогенного режима, как это и предполагалось по АПГ. Расчетный разрез полностью согласуется с прогнозным. Сопоставление установленного в данной статье и прогнозного по АПГ скоростных разрезов верхней мантии обнаруживает их различия, которые вполне могут быть обусловлены погрешностями исходного экспериментального материала и расчетов. Однако знаки отклонений различаются характерным образом. В верхней части разреза установленные значения скорости ниже прогнозных, в нижней — выше. Это может свидетельствовать о более интенсивном теплопереносе в тектоносфере «приокеанической» альпийской геосинклинали на стадии активизации по сравнению с обнаруженным при исследованиях внутриконтинентальных объектов. В этом смысле представляет интерес изучение скоростного разреза верхней мантии под срединно-океаническими хребтами, где эндогенный режим океанов проявляется, вероятно, в максимальной мере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Болдырев С.А.* Мантийные неоднородности активных окраин Мирового океана. / Строе-ние и динамика зон перехода от континента к океану. Москва: Наука. 1986. — С. 43—50.
2. *Геохимия* глубинных вулканических пород и ксенолитов. Ред. Соболев В.С. Москва: Наука. 1980. — 332 с.
3. *Гонтовая Л.И., Гордиенко В.В.* Глубинные процессы и геофизические модели мантии Вос-точной Камчатки и Кроноцкого залива. // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2006. — №2. — С. 107—121.
4. *Гордиенко В.В.* О природе аномалий скорости распространения продольных сейсмических волн в верхней мантии. // Геофиз. журнал. 2010. — №3. — С. 43—63.
5. *Гордиенко В.В.* Процессы в тектоносфере Земли. (Адвекционно-полиморфная гипотеза). Saarbrücken: LAP. 2012. — 256 с.
6. *Гордиенко В.В., Гордиенко Л.Я.* Скоростной разрез верхней мантии под Алеутской, Ку-рильской и Японской островными дугами. // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2012. — №3. — С.37—46.
7. *Гордиенко В.В., Гордиенко Л.Я.* О РТ-условиях в мантийных магматических очагах под Тихим океаном. // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2013. — №2. — С. 47—63.
8. *Гордиенко В.В., Гордиенко Л.Я.* О РТ-условиях в мантийных магматических очагах под Атлантическим океаном. // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2013. — № 4. — С. 63—78.
9. *Калькулятор* расстояния и азимута по географическим координатам <http://www.garmin.com.ua/tools/calc.php>.
10. *Мороз Ю.Ф.* Глубинная электропроводность вулканических зон Камчатки. / Электромаг-нитные исследования Земли. Москва: ИФЗ РАН. 2009. — С. 157.
11. *Назарова З.А., Дроздина С.Я., Сеников С.Л., Дроздин Д.В.* Определение положения очагов землетрясений Камчатского региона. / Проблемы комплексного геофизического монито-ринга Дальнего Востока России. Петр.-Камч.: ДВО РАН. 2010. — С. 363—366.
12. *Низкоус И.В., Кислинг Э., Санина И.А., Гонтовая Л.И.* Скоростные свойства литосферы переходной зоны океан-континент в районе Камчатки по данным сейсмической томогра-фии. / Физика Земли. 2006. — 4. — С. 18—29.
13. *Отчет «Разработка научных основ комплексной системы мониторинга сейсмоактивности в Курило-Камчатском районе».* Рук. Лобковский Л.И. Москва: ИО РАН. 2008. — 95 с.
14. *Петрологические провинции Тихого океана.* / Говоров И.Н., Голубева Э.Д., Пущин И.К. и др. — Москва: Наука. 1996. — 439 с.
15. *Тараканов Р.З.* Скоростные модели и годографы Р-волн для Дальневосточного региона. / Вестник ДВО РАН. 2006. — № 1. — С. 81—95.
16. *Тектоносфера* Тихоокеанской окраины Азии / В.В. Гордиенко, А.А. Андреев, С.К. Бикке-нина и др. Владивосток: ДВО РАН. 1992. — 238 с.
17. *Фролова Т.И., Перчук Л.Л., Бурикова И.А.* Магматизм и преобразование земной коры ак-тивных окраин. Москва: Недра. 1989. — 260 с.
18. *Burdick, L., Helmberger D.,* The upper mantle P velocity structure of the western United States, *J. Geophys. Res.*, 83, 1699—1712, 1978.
19. *Feng M., Lee S., Assumpcao M.,* 2007. Upper mantle structure of South America from joint inver- sion of waveforms and fundamental mode group velocities of Rayleigh waves. *J. G.R.* (112). B04312. doi: 10.1029/2006JB004449.
20. *Fukao Y.,* 1977. Upper mantle P-structure on the ocean side of the Japan-Kurile arc. *Geop. J. R. Astr. Soc.* (50), P.621—642. *Geokem. Geochemistry of igneous rocks.* <http://www.geokem.com/index.html>
21. *Gudmundsson O., Sambridge M.,* 1998. A regionalized upper mantle (RUM) seismic model. *J.G.R.* 102, B4. — P. 7121—7126.
22. *U.S. Geological Survey Albuquerque Seismological Laboratory* [http://aslwww. cr.usgs. gov / Seismic\\_Data/](http://aslwww.cr.usgs.gov/Seismic_Data/)

23. *Yamasaki A., Hirahara K.*, 1996. The upper mantle P-wave velocity structure beneath the northern Japan Arc. *J. Phys. Earth* 44 (6). — P. 713—728.
24. *Walck M.* 1985. The upper mantle beneath the north-east Pacific rim: a comparison with the Gulf of California. *Geop. J. R. Astr. Sos.* 81. — P.243—276.

Статья поступила 20.12.2014

*В.В. Гордієнко, Л.Я. Гордієнко*

#### ШВИДКІСНА МОДЕЛЬ ВЕРХНЬОЇ МАНТІЇ ПІД ОСТРІВНИМИ ДУГАМИ Й БЕРЕГОВИМИ ХРЕБТАМИ ТИХОГО ОКЕАНУ

За даними про час приходу Р-хвиль від землетрусів під островними дугами та береговими хребтами навколо Тихого океану побудовано годографи на відстані до 25 градусів. Це дозволило встановити розподіл швидкості до глибин коло 450—500 км. Визначено зону понижених швидкостей у верхній мантиї від розділу Мохо до глибини коло 150—200 км, в центральній частині котрої вірогідне часткове плавлення порід.

**Ключові слова:** швидкісний розріз, мантия, астеносфера, островні дуги.

*V.V. Gordienko, L.Y. Gordienko*

#### A VELOCITY MODEL FOR THE UPPER MANTLE BENEATH ISLAND ARCS AND THE COASTAL RIDGES PACIFIC OCEAN

According to the arrival time of P-waves from earthquakes under island arcs and coastal ridges around the Pacific Ocean travelttime curves are constructed at distances up to 25 degrees. This allowed to estimate the velocity distribution up to a depth of about 450—500 km. It is defined low-velocity zone in the upper mantle from the Moho to a depth of about 150—200 km. Partial melting of rocks would be expected in the central part of this zone.

**Key words:** speed section, mantle, asthenosphere, island arcs.