

## Скоростные границы в мантии Юго-Восточной Азии и Южного Китая

© Л. Н. Заец, 2011

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 11 июня 2009 г.

Представлено членом редколлегии О. М. Русаковым

Стаття є продовженням роботи із сейсмічної томографії мантиї під Південно-Східною Азією і присвячена, у межах побудованої тривимірної  $P$ -швидкісної моделі мантиї під Південно-Східною Азією і Південнокитайською платформою, виділенню та аналізу мантийних швидкісних меж під структурами регіону і кореляції їх з поверхневими структурами. 3D  $P$ -швидкісна модель отримана за допомогою методу тейлорова наближення розв'язку задачі сейсмічної томографії часів приходу  $P$ -волн, запропонованого В. С. Гейком.

This work is concerned with distinguishing and analysis of mantle velocity boundaries under the structures of the region studied and their correlation with the surface structures within the developed 3D  $P$ -velocity model of the mantle under Southeast Asia and South-China platform. 3D  $P$ -velocity model has been obtained as a result of application of the method of Taylor approximation of solution of seismic tomography of  $P$ -waves arrival time introduced by V.S. Geiko.

**Введение.** Линеаменты играют существенную роль в общей тектонической картине Юго-Восточной (ЮВ) Азии и Южного Китая. С помощью дешифрирования космических снимков и анализа геолого-геофизических материалов по территории ЮВ Азии и ее окружения выделена сеть крупнейших нарушений, отделяющая основные блоковые структуры земной коры друг от друга. Наиболее крупные из них стали своеобразным каркасом, в рамках которого происходили значительные тектонические события, которые привели к современному облику региона [Кулинич и др., 1989; Буш, 1983]. Линеаменты определяют очертания континентов, складчатых систем и зон нарушений, служат граничными структурами между отдельными элементами земной коры, через них осуществляется связь мантии и глубоких частей коры с поверхностью. Н.С. Шатский [Шатский, 1948], описывая Транскавказский линеамент, отмечал: "Наличие огромных тектонических структур и движений, охватывающих самые разнообразные по строению участки земной коры, ставит вопрос об общности движений и, вероятно, об общнос-

ти процессов изменения вещества в глубинных оболочках Земли под различными поверхностными структурами". Развив эту мысль и применив аналогичный подход к линеаментам, В. А. Буш [Буш, 1983] пришел к выводу, что "существование структур, по отношению к которым не только границы континентальной и океанической земной коры, но и границы крупнейших литосферных плит являются «поверхностными» структурами, заставляют предполагать подлитосферное, внутримантийное заложение линеаментов. При этом, конечно, форма проявления линеаментов внутри мантии имеет мало общего с привычным понятием о глубинном разломе в результате происходящих там активных внутримантийных процессов".

Исходя из вышеизложенного, для анализа скоростного строения мантии в работе использован термин "скоростные границы", т. е. зоны, которые ограничивают "скоростные мантийные блоки", характеризующие делимость мантии на крупные скоростные структуры со сходным поведением скоростных характеристик.

Данная статья является продолжением работы по сейсмической томографии мантии под ЮВ Азией [Заец и др., 2009]. Основное внимание уделяется выделению и анализу мантийных скоростных границ под структурами изучаемого региона и корреляции их с поверхностными структурами, в рамках построенной трехмерной  $P$ -скоростной модели мантии под ЮВ Азией и Южным Китаем. Напомним, что 3D  $P$ -скоростная модель получена в результате применения метода тейлора приближения решения задачи сейсмической томографии времен прихода  $P$ -волн, предложенного В. С. Гейко [Гейко, 1997; Geuko, 2004]. Решение, представленное в виде вертикальных сечений (широтных и долготных) до глубины 2500 км в невязках относительно референтной одномерной модели, которая получена как следствие решения задачи сейсмо томографии для Евразии, использовалось для выделения скоростных границ в мантии. Тектоническая схема ЮВ

Азии составлена профессором Cao Dinh Trieu (Institute of Geophysics, VAST, Cau Giay — Hanoi — Vietnam). При выделении скоростных границ (нарушений) принимались во внимание определения В. Б. Соллогуба [Соллогуб, 1986].

**Анализ результатов.** Верхняя мантия под ЮВ Азией и Южным Китаем представлена низкими скоростями на глубинах от 50 до 400—500 км и высокими скоростями в пределах переходной зоны верхней мантии. Исключение — мантия под центральной частью Южно-Китайской платформы, глубоководной впадиной Южно-Китайского моря, крайней северной частью блока Индокитай и центральной частью блока Индобирмания, где наблюдается двухслойное строение верхней мантии — тонкий на глубине 50—100 км высокоскоростной слой сейсмической литосферы и низкоскоростной слой до глубины 400—425 км (рис. 1, а).

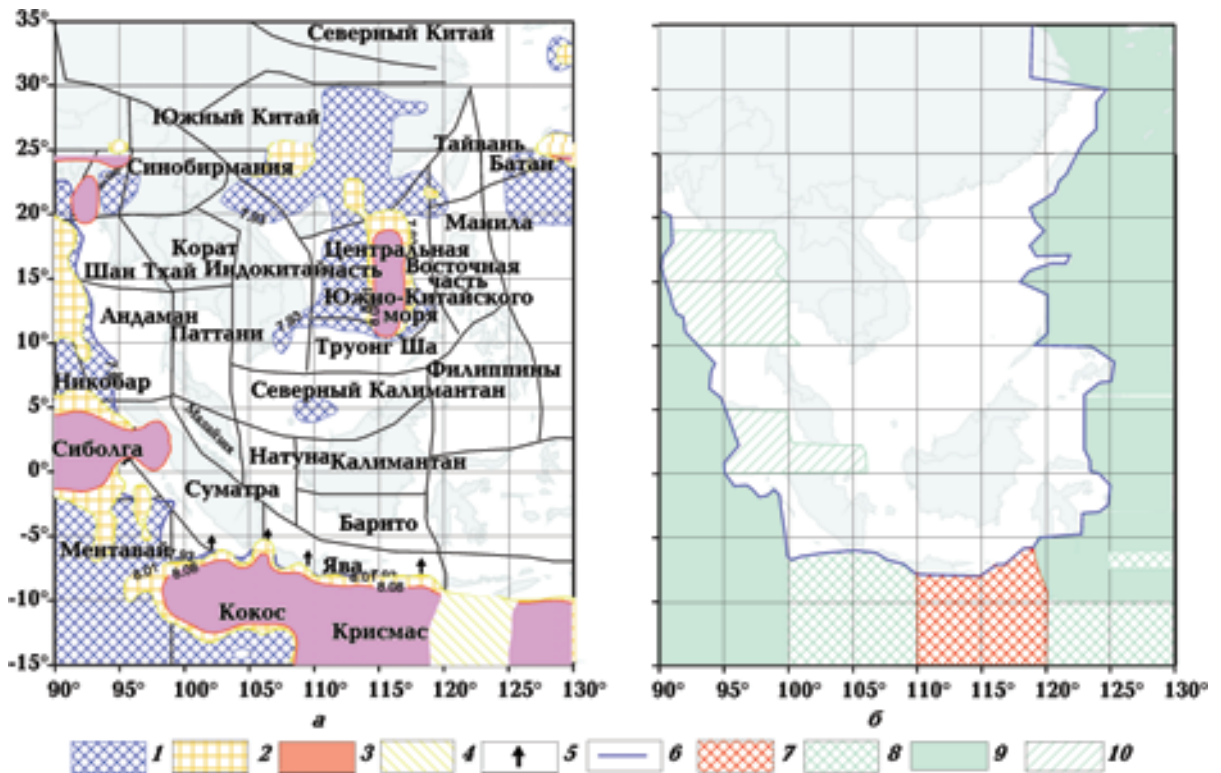


Рис. 1. Схема распространения высокоскоростной сейсмической литосферы под Юго-Восточной Азией (а) и скоростной границы, которая ограничивает структуры Индо-Австралийской плиты по переходной зоне верхней мантии (б): 1 — сейсмическая литосфера на глубине 50 км; 2 — то же на глубине 75 км; 3 — то же на глубине 100 км; 4 — сейсмическая литосфера отсутствует; 5 — погружение высокоскоростного слоя сейсмической литосферы; 6 — скоростная граница (на глубине 50 км) в верхней мантии, разделяющая структуры Индо-Австралийской плиты и Юго-Восточной Азии; 7 — низкоскоростная переходная зона верхней мантии; 8 — переослаивание высоко- и низкоскоростных слоев; 9 — высокоскоростная переходная зона верхней мантии; 10 — приподнятый высокоскоростной слой переходной зоны верхней мантии.

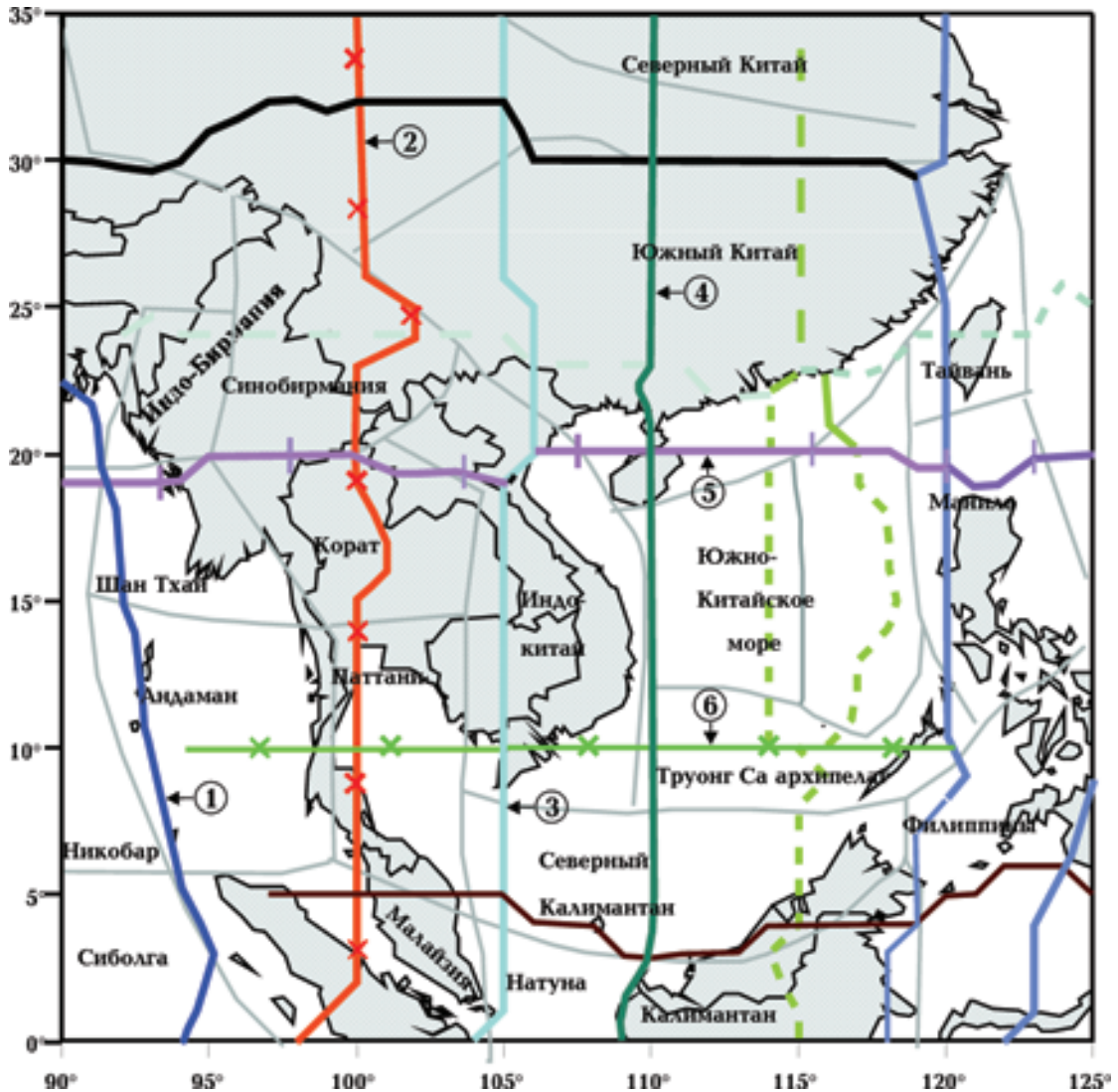


Рис. 2. Схема распространения скоростных границ в мантии под Юго-Восточной Азией. Скоростные границы, выделяемые в мантии: 1 — разделяет структуры Индо-Австралийской плиты и Юго-Восточной Азии; 2 — соответствует на поверхности линейменту 100—102° в. д.; 3 — отделяет зону влияния Индо-Австралийских и Гималайских структур; 4 — коррелируется на поверхности с линейментом 109—110° в. д.; 5 — ограничивает влияние структур с юга; 6 — ограничивает влияние структур Южно-Китайской платформы.

Цель данной работы — выделение основных скоростных границ в мантии под изучаемым регионом, имеющих значительную протяженность и играющих важную роль в тектонике региона [Кулинич, и др., 1989], а также проведение определенной корреляции с поверхностными структурами (рис. 2).

Крайняя западная и южная скоростная граница в мантии в пределах изучаемой территории проходит под Индо-Австралийской плитой и структурами ЮВ Азии (см. рис. 1, а). Она выделяется на глубинах 50—100 км по

границе высокоскоростного слоя, соответствующего верхней мантии под Индо-Австралийской плитой, и начинается под северной частью блока Крисмас, далее проходит под северной частью блока Кокос, северо-восточной границей блока Ментавай, восточной частью блока Сиболга (95° в. д.). Между Индо-Австралийской плитой и блоком Андаман скоростная граница прослеживается вдоль меридиана 93° в. д. (рис. 3, 4, а, WE 10°), а далее к северу до параллели 21—23° с. ш. наблюдается по меридиану 91—92° в. д. Со стороны океа-



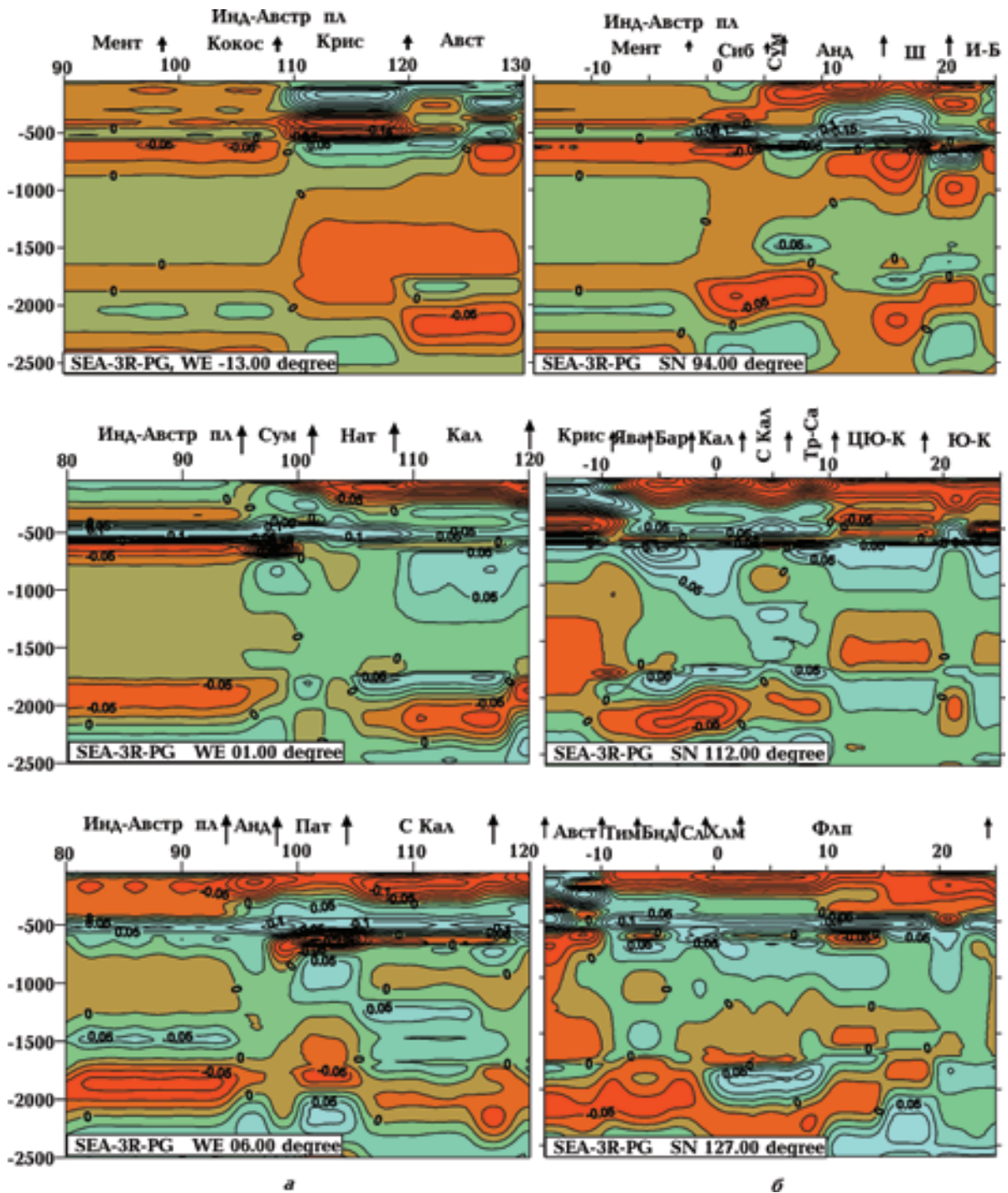


Рис. 3. Широтные (а) и долготные (б) сечения 3D  $P$ -скоростной модели мантии под Индо-Австралийской плитой: Авст — Австралия; Анд — Андаман; Бнд — Банда; Бар — Барито; ВЮ-К — восточная часть Южно-Китайского моря; И-Б — Индобирмания; И-К — Индокитай; Кал — Калимантан; Крис — Крисмас; Кор — Корот; М — Манила; Мент — Ментавай; Мал — Малайзия; Нат — Натуна; Ник — Никобар; Пат — Паттани; С Кал — Северный Калимантан; С-К — Северный Китай; Сиб — Сиболга; С-Б — Синобирмания; Сл — Сула; Сум — Суматра; Тиб кр д — Тибетская краевая дуга; Тим — Тимор; Тр-Са — Труонг Са; Флп — Филиппины; Флп пл — Филиппинская плита; ЦЮ-К — центральная часть Южно-Китайского моря; Ш — Шан Тай; Ю-К — Южный Китай; Хлм — Халмахера.

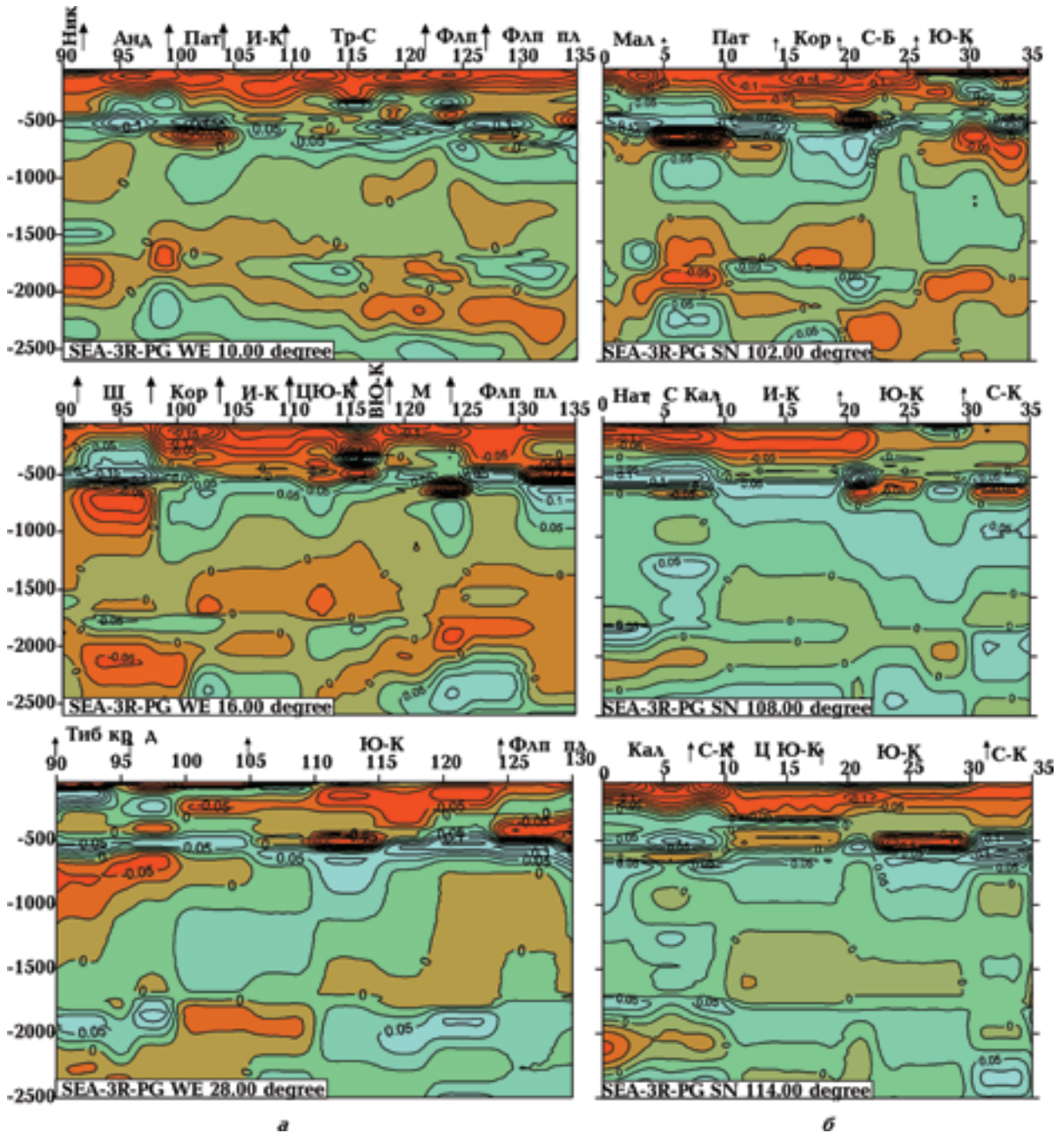


Рис. 4. Широтные (а) и долготные (б) сечения 3D *P*-скоростной модели мантии под ЮВ Азией и Южным Китаем. Условные обозначения см. на рис. 3.

на (Индо-Австралийская плита) к западной и южной границам ЮВ Азии подходит неоднородная океаническая литосфера, что связано с формированием отдельных участков Индийского океана [Антипов, Гайнанов, 2006]. Неоднородность строения коры находит отражение в скоростном строении мантии под Индо-Австралийской плитой — верхняя мантия характеризуется двухслойным строением с увеличе-

нием мощности высокоскоростного слоя сейсмической литосферы от 50—100 км под блоками Никобар, Ментавай, Андаман и до 250 км под блоками Сиболга и Крисмас. Так, на глубине 50 км часть плиты, ограничивающая ЮВ Азию с запада, характеризуется в мантии высокими скоростями. Уже на глубине 75 км выделяются неоднородности скоростного строения вдоль зоны сопряжения Индо-Австралий-

ской и Азиатской плит. Здесь мантию под Индо-Австралийской плитой условно можно разделить на сегменты:

- от  $1^{\circ}$  ю. ш. до  $5^{\circ}$  с. ш. (блок Сиболга), от  $10^{\circ}$  до  $20^{\circ}$  с. ш. (блок Никобар и западная часть блока Андаман) и на юге — блок Крисмас — сегменты, где выделяется сейсмическая литосфера;
- от  $5^{\circ}$  до  $10^{\circ}$  с. ш. и  $15^{\circ}$ — $1^{\circ}$  ю. ш. (под блоками Ментавай и Кокос), где она отсутствует на данной глубине (75 км).

На глубинах 100—225 км сейсмическая литосфера фиксируется лишь под блоками Сиболга (на западе) и блоком Крисмас (со стороны Австралийской платформы). Здесь же (в верхней мантии) нашли отражение процессы взаимодействия Индо-Австралийской и Евразийской литосферных плит при их встречном движении — погружение наклонного высокоскоростного слоя сейсмической литосферы под низкоскоростную верхнюю мантию, соответствующую Азиатской плите (см. рис. 3: погружение со стороны блока Суматра — WE  $01^{\circ}$ , погружение с юга — SN  $112^{\circ}$ ). До глубины 400 км верхняя мантия под Индо-Австралийской плитой характеризуется низкими скоростями, соответственно, переходная зона верхней мантии на глубинах 400—600 км — высокими, зона раздела 1 — низкими. Вплоть до глубин нижней мантии скоростные слои под Индо-Австралийской плитой имеют субгоризонтальное простираие (рис. 3).

В зоне контакта мантийных структур (индоавстралийских и структур ЮВ Азии) наблюдается взаимопроникновение внутримантийных скоростных слоев, что отражается в смене их субгоризонтальной протяженности. Это особенно хорошо просматривается в переходной зоне верхней мантии. В районе скоростной границы, разделяющей Индо-Австралийскую и Евразийскую плиту с запада, прослеживается раздвоение высокоскоростного слоя, кровля верхней части раздвоенного высокоскоростного слоя переходной зоны приподнимается с глубины 400 км (под Индо-Австралийской плитой) до 200 км под структурами ЮВ Азии, вплоть до границы с блоком Индобирмания (рис. 3, WE  $06^{\circ}$ ). При этом нижняя часть раздвоенного высокоскоростного слоя переходной зоны верхней мантии в результате взаимодействия структур погружается в виде слэба в среднюю мантию под Азиатской плитой (в районе между  $5^{\circ}$  и  $10^{\circ}$  с. ш.). На рис. 1, б показана схема распространения высокоскоростного слоя переходной зоны ман-

тии со стороны Индо-Австралийской плиты и выделена скоростная граница по переходной зоне мантии, отделяющая скоростные структуры в мантии, соответствующие ЮВ Азии. По переходной зоне четко прослеживается скоростная граница, ограничивающая изучаемый регион с востока.

В восточном направлении в мантии под ЮВ Азией по скоростным характеристикам можно выделить протяженную границу субмеридионального направления в пределах  $100^{\circ}$ — $103^{\circ}$  в. д. Эта протяженная структура состоит из отдельных границ разной протяженности и глубины залегания. По меридиану  $100^{\circ}$  в. д. (в пределах от 0 до  $5^{\circ}$  с. ш.) скоростная граница выделяется по горизонтальным и вертикальным сечениям (в верхней мантии и ее переходной зоне) по западной границе низкоскоростной аномалии (7,725 км/с), расположенной под блоком Малайзия на глубинах 50—150 км, далее к северу (до  $15^{\circ}$  с. ш.) она прослеживается по восточной границе аномалии, расположенной под блоком Андаман, до глубин нижней мантии. Под блоком Корат граница сдвигается в западном направлении и проходит по меридиану  $98^{\circ}$  в. д.

Под блоком Синобирмания скоростная граница отмечается как в верхней мантии, так и в ее переходной зоне и разделяет блок на две части. Севернее параллели  $25^{\circ}$  с. ш. скоростная граница четко проходит по меридиану  $100^{\circ}$  в. д. и выделяется до глубины 2000 км.

Граница по меридиану  $105$ — $106^{\circ}$  в. д. представляет собой не однородную границу, а совокупность отдельных границ (в верхней мантии устанавливается по западной границе низкоскоростной аномалии, ограниченной изолинией с невязкой  $-0,125$  км/с на глубинах 150—275 км, распространенной под блоками Натуна (глубина 100—150 км), Северный Калимантан и Индокитай (глубина 150—275 км). Скоростная граница отмечается под западной частью блоков Натуна и Северный Калимантан, от  $9$  до  $19^{\circ}$  с. ш. она ограничивает с запада блок Индокитай (здесь скоростная граница выделяется в верхней мантии по изменению глубины залегания подошвы низкоскоростного слоя верхней мантии (невязки  $-(0,05$ — $0,075$  км/с), который под Индокитаем расположен на глубине 400 км, под блоком Корат приподнят до глубины 350 км, а в высокоскоростном слое переходной зоны верхней мантии граница определяется по резкому опусканию изолинии скорости со значением  $0,025$  км/с на глубинах 900—1200 км (местами до 1400 км). От



параллели  $20^\circ$  с. ш. граница в мантии смещается на восток до меридиана  $106^\circ$  в. д. — она наблюдается в низкоскоростной части верхней мантии и высокоскоростной переходной зоне верхней мантии. По высокоскоростной сейсмической литосфере скоростная мантийная граница не прослеживается. Далее скоростная граница в мантии проходит под северо-западной частью Индокитая, западной частью Южно-Китайской платформы, ограничивая с запада зону влияния структур Альпийско-Гималайского подвижного пояса.

Граница в пределах  $109\text{—}110^\circ$  в. д. (см. рис. 4, а, WE  $16^\circ$ ) выделяется Ю. Г. Гатинским с соавторами [Гатинский и др., 1984] как субмеридиональная структура — разлом Хайнань-Натуна, а А. Г. Родниковым с соавторами [Родников и др., 1989] — субмеридиональный Индосинийский (Пограничный) разлом. Разломы субмеридионального простирания, с которыми пространственно совпадает "линия Ван Эза" (приуроченная к части субмеридионального линеамента  $109^\circ\text{—}110^\circ$  в. д.), выделены также вьетнамскими и китайскими учеными. Указанная линия нарушает горизонтальное переслаивание высокоскоростных и низкоскоростных слоев под Индокитаем, будучи граничной структурой между Индокитаем и Южно-Китайским морем. Низкоскоростные слои верхней мантии в районе скоростной границы приподнимаются с глубины 250—300 до 200 км, а высокоскоростные слои переходной зоны верхней мантии прогибаются до глубины 900 км. Граница прослеживается до глубин 1000—1100 км, а местами (восточная граница блока Индокитай) до 2000—2500 км (рис. 4, а, WE  $16^\circ$ ). Граница  $109\text{—}110^\circ$  в. д. продолжается в северном и южном направлениях.

По меридиану  $115\text{—}117^\circ$  в. д. в мантии выделяется полоса скоростных неоднородностей, которая проходит под Южно-Китайской платформой, достигая глубоководной котловины Южно-Китайского моря, где сдвигается к западу до  $114^\circ$  в. д. Ограниченная скоростными границами по параллелям  $9\text{—}10^\circ$  и  $19\text{—}20^\circ$  с. ш., область скоростных неоднородностей представляет собой в верхней мантии и ее переходной зоне картину взаимного внедрения высокоскоростного слоя переходной зоны верхней мантии с юга (как результат воздействия движущейся Австралийской плиты) и низкоскоростного слоя верхней мантии с севера (Южно-Китайская платформа). Начиная от  $112$  до  $118^\circ$  в. д., в пределах  $10\text{—}20^\circ$  с. ш., до глубины 750 км отмечаются переслаивающиеся

высоко- и низкоскоростные слои — результат взаимодействия скоростных структур севера и юга.

По меридиану  $119^\circ$  в. д. (к югу от  $30^\circ$  с. ш.) выделяется скоростная граница в мантии по восточной окраине Южно-Китайской платформы, начиная с  $23^\circ$  с. ш. к югу скоростной раздел в мантии смещается к  $120\text{—}122^\circ$  в. д. В пределах  $30\text{—}15^\circ$  с. ш. скоростная граница по меридиану  $119\text{—}120^\circ$  в. д. прослеживается до переходной зоны верхней мантии. От параллели  $15\text{—}10^\circ$  с. ш. ее можно выделить до глубины 2000 км, от  $9\text{—}5^\circ$  с. ш. скоростная граница слабо выделяется в пределах верхней мантии, ограничивая при этом в средней мантии влияние индоавстралийских высокоскоростных структур (высокоскоростной слой переходной зоны верхней мантии, соответствующий Индо-Австралийской плите, погружается в среднюю мантию под структуры ЮВ Азии).

В регионе нет протяженных, четко выраженных на больших расстояниях линеаментов широтного простирания. Однако по долготным сечениям в верхней мантии отмечается граница, начинающаяся от параллели  $23\text{—}24^\circ$  с. ш. и идущая в северном направлении через блоки Индо-Бирмания, Синобирмания (наблюдаемая до  $26\text{—}27^\circ$  с. ш.). Сквозная скоростная граница по  $30^\circ$  с. ш. (выделяемая по перегибам скоростных изолиний) наблюдается до глубины 2500 км.

Скоростными границами, проходящими по параллелям  $10^\circ$  и  $20^\circ$  с. ш. ( $105\text{—}111^\circ$  в. д.), отделяется центральная часть блока Индокитай, представляющая собой переслаивание выдержанных по мощности высокоскоростных и низкоскоростных слоев, причем подошва высокоскоростного слоя переходной зоны верхней мантии прогибается до глубины 1000 км. Здесь скоростные границы не совпадают с границами блока Индокитай по коре.

По долготным сечениям под южной частью Индокитая в пределах  $8\text{—}10^\circ$  с. ш. наблюдается скоростная граница, определяемая по изменению мощности низкоскоростного слоя верхней мантии от 200 (под Северным Калимантаном) до 350 км (под Индокитаем) по невязке  $-0,025$  км/с. В переходной зоне она отмечается по резкому изгибу скоростных изолиний (рис. 4, б, SN  $114^\circ$ ). Скоростная граница субширотного простирания продолжается (на западе) под блоком Паттани вдоль параллели  $10^\circ$  с. ш. и под глубоководной котловиной Южно-Китайского моря (на восто-

ке), оканчиваясь у меридиана  $120^\circ$  в. д. В переходной зоне верхней мантии граница сдвигается на  $1\text{—}2^\circ$  к северу. По параллели  $10^\circ$  с. ш. устанавливается граница, которая разделяет блок Паттани на северную и южные части, а также скоростная граница, проходящих по центру блока Корат ( $14\text{—}15^\circ$ ,  $16^\circ$ ,  $19^\circ$  с. ш.). На поверхности эти границы коррелируются с зоной широтных разломов Индосинийского массива. Следует отметить, что скоростная мантийная граница в пределах  $9\text{—}10^\circ$  с. ш. имеет начало под блоком Паттани ( $98^\circ$  в. д.) и заканчивается под блоком Труонг Са ( $119^\circ$  в. д.), местами (под блоком Индокитай) отслеживается до глубин нижней мантии. Особенно четко скоростная граница фиксируется в переходной зоне верхней мантии по резкому изгибу изолиний скорости.

Южно-Китайская платформа характеризуется неоднородным строением как по вертикали, так и по горизонтали. Согласно Kenneth J. Nsu et al. (1990), платформа состоит из трех блоков: складчатый пояс Янцзы, зона деформаций Хайнань и блок Донгнанья, которые разделены сутурными зонами (Xianggangzhe, Gunanhai). По характеру поведения скоростных характеристик мантию платформы можно также разделить на отдельные блоки. Здесь выделяются центральный блок, как стабильная структура, и активизированные окраины. Активизация на западе, очевидно, происходит под влиянием давления Индийского индентора [Гатинский, Рундквист, 2004]. Западная часть Южно-Китайской платформы (до  $109\text{—}110^\circ$  в. д.) имеет низкоскоростную верхнюю мантию, которая в результате внедрения на глубинах  $100\text{—}250$  км высокоскоростной области (невязки  $0,025\text{—}0,05$  км/с) делится на два рукава, нижняя часть которых достигает глубины  $400$  км, теряя местами свою целостность (рис. 4, б, SN  $102^\circ$ ). Скоростная граница между платформой и блоком Синобирмания в верхней мантии четко не прослеживается (до  $104^\circ$  в. д.).

Под центральной частью платформы верхняя мантия двухслойная: тонкий высокоскоростной слой сейсмической литосферы до глубин  $50\text{—}75$  км и мощный низкоскоростной слой. В низкоскоростном слое верхней мантии выделяется более низкоскоростная область с невязкой  $\text{—}0,025$  км/с, опустившаяся на глубины  $400\text{—}600$  км, что привело к погружению на глубины  $700\text{—}1300$  км высокоскоростного слоя переходной зоны мантии. Как высокоскоростной, так и низкоскоростной слой верхней мантии под центральной частью платформы

имеет субгоризонтальное простираение с выдержанной мощностью. Отождествив участок резкого изменения глубины залегания скоростных слоев со скоростными границами в мантии, можно проследить границы центрального блока Южно-Китайской платформы до глубины зоны раздела-2.

Отдельно выделяется блок на юге платформы. Здесь имеет место двухслойная верхняя мантия с тонким ( $50$  км) высокоскоростным слоем сейсмической литосферы и мощным низкоскоростным слоем. По параллели  $19\text{—}22^\circ$  с. ш. в низкоскоростном слое верхней мантии и высокоскоростном слое переходной зоны верхней мантии фиксируются переслаивающиеся низкоскоростные и высокоскоростные аномалии с невязкой  $\text{—}(0,1\text{—}0,075)$  км/с на глубинах  $100\text{—}250$  км и  $\text{—}0,05$  км/с на глубине  $300\text{—}650$  км, которые выделяют блок на поверхности, соответствующий блоку Донгнанья Южно-Китайской платформы [Kenneth et al., 1990]. Южное окончание этих аномалий под окраиной Южно-Китайской платформы в верхней мантии отмечается как скоростная граница, которая определяется по высокоскоростному слою сейсмической литосферы и трассируется до глубин нижней мантии. Наблюдается лишь частичная корреляция с южной окраиной Южно-Китайской платформы на поверхности. Здесь до меридиана  $120^\circ$  в. д. окраина платформы коррелируется со скоростной границей, выделяемой по параллели  $23^\circ$  с. ш.

На севере в мантии четко прослеживается скоростная граница под центральным блоком Южно-Китайской платформы по параллели  $30^\circ$  с. ш. на отрезке  $110\text{—}115^\circ$  в. д. по смене мощности низкоскоростного слоя на глубинах от  $250$  до  $400$  км. Далее на восток по параллели  $30^\circ$  с. ш. проходит скоростная граница по южному окончанию низкоскоростной аномалии с невязкой  $\text{—}0,075$  км/с. На поверхности она частично совпадает с северной границей Южно-Китайской платформы. Восточной границе Южно-Китайской платформы соответствует скоростная граница, проходящая по западной границе мантийного блока под Филиппинской плитой, выделяемого сменой глубины залегания низкоскоростного слоя на глубинах от  $100$  до  $200$  км. Граница Южно-Китайской платформы с Индокитаем (рис. 4, б, SN  $108^\circ$ ) фиксируется в низкоскоростной верхней мантии и переходной зоне верхней мантии по параллели  $19\text{—}23^\circ$  с. ш. в виде переслаивания концентрических высо-



ко- и низкоскоростных аномалий с невязкой  $-0,75$  км/с на глубинах 100—600 км (полоса аномалий наблюдается в западном направлении до  $94^\circ$  в. д.). По высокоскоростной сейсмической литосфере скоростная граница, соответствующая на поверхности границе между Южно-Китайской платформой и блоком Индокитай, не выделяется. Обращают на себя внимание внедрение со стороны Южно-Китайской платформы низкоскоростной аномалии с невязкой  $-0,25$  км/с в высокоскоростной слой переходной зоны под Индокитаем и разрыв его целостности.

**Заключение.** Согласно данной сейсмографической модели, мантия под Юго-Восточной Азией характеризуется сложным строением как по вертикали, так и по горизонтали, что характерно для неустановившихся структур. Центральная часть Южно-Китайской платформы, глубоководная впадина Южно-Китайского моря и северная часть Индокитая — области с двухслойным строением верхней мантии: тонкий слой сейсмической литосферы (50—100 км) и низкоскоростной слой. На остальной территории высокоскоростной слой сейсмической литосферы в мантии отсутствует, и до глубины 400 км она представлена низкими скоростями.

В верхней мантии выделяется скоростная граница, разделяющая низкоскоростные структуры ЮВ Азии и высокоскоростные структуры, соответствующие Индо-Австралийской плите. Эта же граница прослеживается по переходной зоне верхней мантии (см. рис. 1). Зона контакта с Индо-Австралийской плитой (на западе) характеризуется неоднородностью скоростного строения. Под блоками Андаман, Шан Тхай и северной частью блока Суматра наблюдается куполообразное поднятие высокоскоростного слоя переходной зоны верхней мантии (рис. 1, б), внедрение низкоскоростной зоны раздела-1 со стороны Индо-Австралийской плиты (на западе) в высокоскоростную переходную зону верхней мантии, соответствующую структурам ЮВ Азии (см. рис. 4, а, WE  $10^\circ$ ). В верхней мантии, как с юга (блок Ява), так и с запада (северная часть блока Суматра), отмечается погружение высокоскоростного слоя сейсмической литосферы (см. рис. 3, погружение со стороны блока Суматра, WE  $01^\circ$ , погружение с юга — SN  $112^\circ$ ).

Вызывает интерес крупный и малоизученный методами сейсмической томографии блок региона — Индокитай (более подробное описание скоростного строения верхней мантии

см.: [Заец, Цветкова и др., 2009]). С запада и востока блок выделяется в мантии скоростными границами: по меридианам  $104—105^\circ$  и  $109—110^\circ$  в. д. (рис. 4, а, WE  $16^\circ$ , 4, б, SN  $108^\circ$ ). Причем скоростная граница  $104—106^\circ$  в. д. продолжается в южном направлении под блоками Натуна, Северный Калимантан, а в северном — под западной частью Южного Китая, граница  $109—110^\circ$  в. д. прослеживается в мантии от блока Калимантана до Южно-Китайской платформы (см. рис. 2). Под блоком Индокитай по скоростным границам вдоль параллелей  $10^\circ$  и  $20^\circ$  с. ш. ( $105—111^\circ$  в. д.) устанавливаются южная и северная границы центральной части блока.

Широтные скоростные границы  $9—10^\circ$  и  $19—20^\circ$  с. ш. выделяют южную и северную границы глубоководной котловины Южно-Китайского моря (см. рис. 4, б, SN  $114^\circ$ ). Ограниченная вышеупомянутыми скоростными границами, мантия глубоководной котловины Южно-Китайского моря характеризуется некоторыми особенностями: в верхней мантии и переходной зоне наблюдается картина взаимного внедрения высокоскоростного слоя переходной зоны верхней мантии структур с юга и низкоскоростного слоя верхней мантии, соответствующего структурам с севера (Южно-Китайская платформа). В пределах  $112—118^\circ$  в. д. ( $10—20^\circ$  с. ш.) до глубины 750 км прослеживаются переслаивающиеся высоко- и низкоскоростные слои — результат взаимодействия скоростных структур с севера и юга (см. рис. 2, 4, б, SN  $114^\circ$ ).

Южно-Китайская платформа как цельная структура в мантии не наблюдается, а разделена скоростными границами на блоки. В мантии под платформой выделяется установившееся ядро (центральный блок Южно-Китайской платформы — между  $22—23^\circ$  и  $29—30^\circ$  в. д.), ограниченное скоростными границами  $111^\circ$  и  $118^\circ$  в. д., и активизированные окраины (рис. 4, б, SN  $114^\circ$ ). По параллели  $29—30^\circ$  с. ш. проходит скоростная граница, соответствующая на поверхности северной границе платформы.

По меридиану  $119^\circ$  в. д. (к югу от  $30^\circ$  с. ш.) отмечается скоростная граница в мантии по восточной окраине Южно-Китайской платформы, начиная от  $23^\circ$  с. ш. скоростная граница в мантии смещается в восточном направлении до  $120—122^\circ$  в. д. Скоростные мантийные границы  $120—122^\circ$  в. д. соответствуют на поверхности зоне меридионального линейного элемента, где располагается Лусон-Тайван-

ское звено Калимантан-Тайванского архипелага (рис. 4, а, WE 28°).

Скоростная картина в мантии подтверждает связь процессов, происходящих в коровых структурах, с процессами в мантии. Выявлена корреляция между расположением скоростных границ в мантии и системы линейных и разломных зон в коре. Так, в мантийных структурах нашли отражения следующие линейные элементы: 100—103° в. д. — один из крупнейших в Азии; сквозной в пределах 109—110° в. д.; по меридиану 116° в. д.; в зоне меж-

ду меридианами 120—122° в. д., а также линейные элементы широтного простираения.

Следует отметить, что выделенные скоростные границы в мантии лишь частично соответствуют границам поверхностных структур. Отмечается также несоответствие тектонического районирования по коре и мантийным структурам. Так, северная и южная границы блока Индокитая, согласно коровым данным, не соответствуют скоростным границам в мантии, лишь частично коррелируются границы на западе и востоке.

### Список литературы

- Буш В. А. Системы трансконтинентальных линейных элементов Евразии // Геотектоника. — 1983. — № 3. — С. 15—31.
- Антипов А. А., Гайнанов А. Г. Особенности субдукции при встречном взаимодействии Индо-Австралийской и Евразийской литосферных плит // Материалы XVII молодеж. конф. "Геология, полезные ископаемые и геоэкология Северо-Запада России". — Петрозаводск, 2006.
- Гатинский Ю. Г., Рундквист Д. В. Геодинамика Евразии — тектоника плит и тектоника блоков // Геотектоника. — 2004. — № 1. — С. 3—20.
- Гатинский Ю. Г., Зорина Ю. Г., Чистякова А. А. Особенности разломной тектоники Индокитайского региона // Геотектоника. — 1984. — № 5. — С. 73—82.
- Гейко В. С. Тейлорово приближение волнового уравнения и уравнения эйконала в обратных сейсмических задачах // Геофиз. журн. — 1997. — 19, № 3. — С. 48—68.
- Заец Л. Н., Цветкова Т. А., Бугаенко И. В., Шумлянская Л. А. 3D P-скоростное строение верхней мантии Индокитая и его окружения // Геофиз. журн. — 2009. — 31, № 2. — С. 47—60.
- Кулинич Р. Г., Заболотников А. А., Марков Ю. З., Журавлев А. В., Згоровенин В. В., Головань А. А., Обжиров А. И., Николаева Н. А. Кайнозойская эволюция земной коры и тектогенез Юго-Восточной Азии. — Москва: Наука, 1989. — 256 с.
- Родников А. Г., Родникова Р. Д., Зорина Ю. Г. Рифтогенез континентальной окраины Восточной Азии по геофизическим данным // Гравиметрические и магнитные исследования на море. — Москва: МГК при Президиуме АН СССР, 1989. — С. 130—146.
- Солмогуб В. Б. Литосфера Украины. — Киев: Наук. думка, 1986. — 182 с.
- Шатский Н. С. О глубоких дислокациях, охватывающих платформы и складчатые области (Поволжье и Кавказ). Сравнительная тектоника древних платформ // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1948. — № 5. — С. 39—66.
- Geyko V. S. A general theory of the seismic travel-time tomography // Геофиз. журн. — 2004. — 26, № 1. — С. 3—32.
- Kenneth J. Hsu, Li Jiliang, Chen Haihong, Wang Qingchen, Sun Shu, Sengor A. M. C. Tectonics of South China: Key to understanding West Pacific geology // Tectonophysics. — 1990. — 183. — P. 9—39.