

КРАТКИЕ И ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.834

*Б. Я. Карп, Н. Хирата, Х. Киношита, К. Суэхиро,
В. В. Здоровенин, В. Н. Карнаух*

**СОВЕТСКО-ЯПОНСКИЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ
В ЯПОНСКОМ МОРЕ.
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ**

Летом и осенью 1990 г. ТОИ ДВО АН СССР и Токийский университет (Япония) провели совместный сейсмический эксперимент в Японской (Центральной) котловине Японского моря. Эксперимент включал работы по глубинному сейсмическому зондированию (ГСЗ) взрывными и пневматическими источниками вдоль двух взаимно перпендикулярных профилей, на которых было выставлено 26 ДСС; многоканальное профилирование МОВ на тех же профилях и площадную съемку одноканальным сейсмопрофилированием (НСП). По данным НСП котловина характеризуется расчлененным рельефом акустического фундамента, расположенного на большей части котловины на глубинах 5,8—6,6 с от поверхности моря. На востоке котловины выделяется область погружения фундамента (глубины больше 6,8 с). По результатам предварительной обработки части данных ГСЗ земная кора представлена осадочным слоем (скорости продольных волн от 1,6 до 3,5 км/с), слоями 2В и 2С (скорости 4,5—4,8 км/с). Скорость на границе Мохо — 8,0—8,2 км/с. Мощность коры (от поверхности морского дна) составляет 8,0—8,5 км.

Японское море — один из задуговых бассейнов западной части Тихого океана. По морфологии дна оно разделяется на три главных котловины: Японскую (Центральную), Ямато (Хонсю) и Цусимскую. Дно моря характеризуется наличием большого числа поднятий, основные из которых — поднятие Ямато в центре моря и Восточно-Корейская возвышенность в его западной части.

Высказано значительное число идей о происхождении впадины Японского моря. Сошлемся на некоторые из них: гипотеза океанизации В. В. Белоусова [10], предположение о том, что Японское море — реликт Тихого океана [3], различные механизмы задугового спрединга [13, 18, 22, 24—27].

Один из ключевых вопросов при решении проблем тектонического развития задуговых бассейнов — определение сейсмической структуры земной коры и верхней мантии. Интенсивные сейсмические исследования проводятся в Японском море начиная с 60-х гг. советскими [1, 2, 5—9], японскими [15, 23] и американскими [21] учеными. Последнее по времени обобщение результатов сейсмических исследований на акватории Японского моря [20] показало недостаточность данных о сейсмических характеристиках земной коры. Это в первую очередь касается самой крупной в Японском море Японской котловины.

Строение земной коры Японской котловины изучено с помощью двух модификаций морского метода преломленных волн: в одной модификации использовались два судна (взрывное и приемное) и большие заряды (130 кг) конденсированных взрывчатых веществ (ВВ), в другой — сейсмоакустические радиобуи, малые заряды ВВ и пневматические источники. Первая модификация применялась в советских экспедициях [4] и при работах японских ученых [23], вторая — во время японо-американской экспедиции [21]. Практически все профили, выполненные советскими учеными, имеют встречную систему годографов,

большая часть профилей японских и американских исследователей изучена с помощью одиночных годографов. Годографы преломленных волн, зарегистрированные на советских профилях, обработаны методом полей времен. Этот метод был применен для определения глубины залегания кровли третьего слоя и поверхности Мохо. Японские и американские специалисты обрабатывали свои данные с помощью метода t_0 , использовались значения кажущихся скоростей, вычисленные по наблюдаемым годографам преломленных волн.

По советским данным, земная кора Японской котловины имеет двухслойное строение — осадочный слой со средней скоростью продольных волн $V_p \approx 2$ км/с и слой с $V_p \approx 6,5-6,6$ км/с. По японо-американским данным, земная кора здесь трехслойная: осадочный ($V_p - 1,6-3,1$ км/с), второй ($V_p - 3,5-5,7$ км/с) и третий ($V_p - 6,5-7,5$ км/с) слой. Характерной особенностью советских и японо-американских данных является практически совпадающая «временная» мощность толщ между дном моря и кровлей третьего слоя: $1,4-2,1$ с для советских профилей и $1,45-2,61$ с для японо-американских профилей. Отсутствие второго слоя в моделях, построенных по советским данным, объясняется низкой разрешающей способностью использовавшейся при работах методики. Указанное выше совпадение «временных» мощностей говорит о том, что положение в разрезе кровли третьего слоя одинаково для моделей, полученных всеми исследовательскими группами. Мощность третьего слоя, определенная методом полей времен советскими геофизиками, составляет $7,5-11$ км. Мощность этого слоя, вычисленная японскими и американскими специалистами, равна $3,5-4,3$ км. Таким образом, мощность третьего слоя и, следовательно, мощность земной коры Японской котловины по данным разных групп исследователей существенно различаются. Основные источники различий — несовершенство методики морского эксперимента и способов обработки сейсмических данных.

Осознание указанного факта явилось причиной появления идеи проведения совместного советско-японского сейсмического эксперимента. Цели совместного эксперимента были сформулированы в 1989 г. во время рабочей встречи редакторов советско-японской монографии [17]. Основная задача эксперимента состояла в определении сейсмического строения и мощности земной коры Японской котловины. Кроме того, было решено изучить распределение мощности осадков и рельеф акустического фундамента котловины, знание которых оказывает существенное влияние на все тектонические построения. Предпосылкой для успешного решения основной задачи являлось использование в будущем эксперименте современных аппаратуры, методики и способов обработки данных.

Совместный сейсмический эксперимент, организованный Тихоокеанским океанологическим институтом ДВО АН СССР и Токийским университетом, был проведен в сентябре 1990 г. В эксперименте приняли участие НИС ДВО АН СССР «Профессор Богоров» и НИС Токийского университета «Тансей-мару». Кроме того, короткий отрезок времени в работах принимало участие арендованное японской стороной судно «Вакашио-мару». В результате совместной экспедиции включены сейсмические данные, полученные ТОИ ДВО АН СССР с борта НИС «Профессор Гагаринский» в июне — июле 1990 г.

Методика эксперимента. Исследования проведены методом преломленных волн (глубинное сейсмическое зондирование — ГСЗ) и методом отраженных волн (непрерывное одно- и многоканальное сейсмопрофилевое). Работы по ГСЗ выполнены в северо-восточной части Японской котловины вдоль двух взаимно перпендикулярных профилей длиной около 200 км каждый (рис. 1), ориентированных вдоль и поперек простирания линейных магнитных аномалий [16]. Регистрация сейсмических колебаний производилась на донные сейсмические станции (ДСС). На каждом профиле устанавливалось по 13 ДСС: 10 японских и

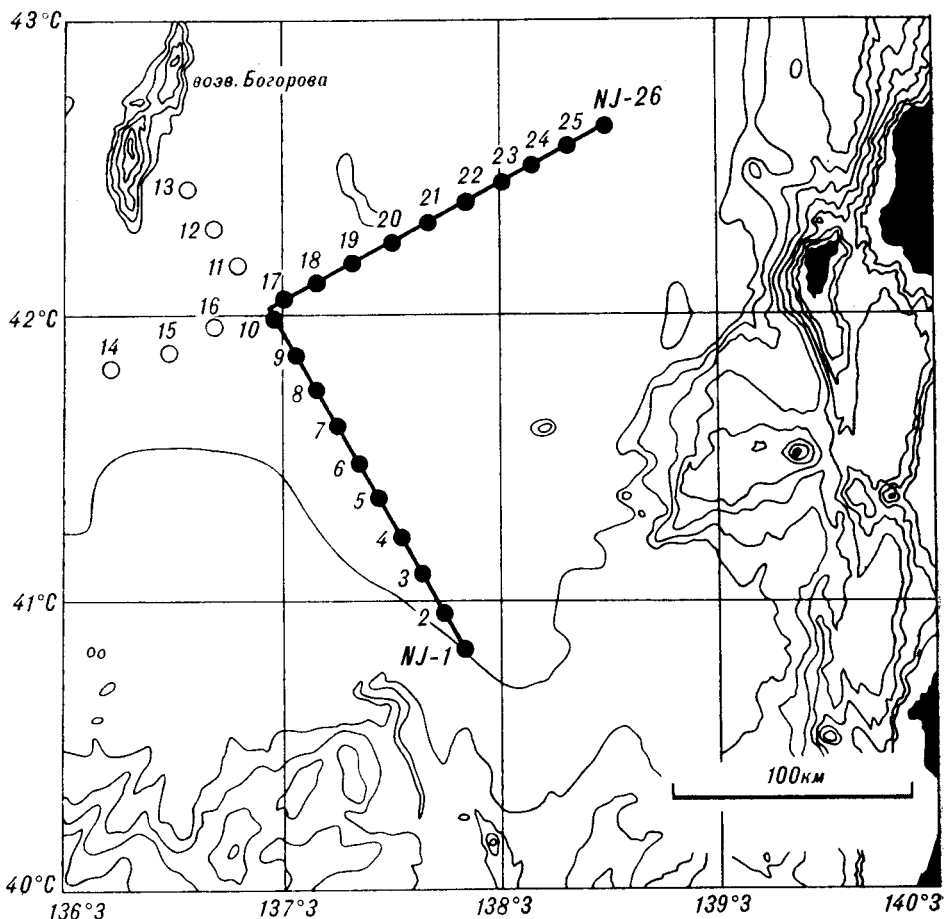


Рис. 1. Положение профилей ГСЗ.

Кружки с номерами — донные сейсмические станции; залитые кружки — японские ДСС, незалитые — советские ДСС.

3 советских. Профили делились между национальными экономическими зонами на две части — советскую и японскую. Советские ДСС были расставлены вдоль советской части профилей, японские, соответственно, вдоль японской. Расстояние между советскими ДСС составляло около 19 км, между японскими — около 16 км.

Источниками упругих колебаний служили взрывы ВВ и излучения пневмоисточников (ПИ). Судно «Вакашио-мару» произвело вдоль японской части обоих профилей пять взрывов больших зарядов ВВ (300 и 400 кг) и 42 взрыва малых зарядов (25 кг). Большие взрывы располагались на краях и в центрах профилей, малые — равномерно между ними. Интервал между малыми взрывами был около 7 км, между большими — около 75 км. НИС «Профессор Богоров» произвел излучения ПИ объемом 40 л вдоль советской части профилей, расстояние между точками излучения равнялось 250 м, НИС «Тансей-мару» выполнило аналогичную работу с помощью ПИ объемом 9 л вдоль японской части профилей (дистанция между излучениями 52 м). Сочетание мощных взрывных источников и маломощных, но расположенных в пространстве с большей плотностью пневматических источников создало предпосылки для получения высококачественных сейсмических данных, освещающих как земную кору в целом, так и ее верхнюю наиболее расчлененную часть. Реализованная в эксперименте система наблюдений позволила получить перекрывающиеся наборы встречных и нагоняющих годографов преломленных волн для всех ожидаемых в разрезе границ.

Донные сейсмические станции, использованные в эксперименте, принадлежали ТОИ ДВО АН СССР, Институту землетрясений Токийского университета, университету г. Чива и лаборатории подводной сейсмологии университета г. Хоккайдо. Все ДСС были снабжены горизонтальными и вертикальными сейсмоприемниками и производили регистрацию сейсмических сигналов в аналоговом виде на магнитную ленту в частотном диапазоне 4—35 Гц.

Основной объем работ методом непрерывного сейсмопрофилирования (одноканальный вариант, НСП) выполнен с борта НИС «Профессор Гагаринский» в июне — июле 1990 г. Планомерной съемкой покрыта акватория Японской котловины от траверза залива Петра Великого до траверза бухты Ольга (рис. 2). Расстояние между профилями около 18 км, общая длина профилей около 7400 км. НИС «Профессор Богоров» провел НСП вдоль советской части профилей ГСЗ. При всех работах в качестве излучателя использовали ПИ объемом 3 л.

Вдоль японской части профилей НИС «Тансей-мару» выполняло многоканальное непрерывное сейсмопрофилирование. Использовалась шестиканальная приемная сейсмическая коса и одиночный пневмоисточник объемом 9 л. Излучения ПИ одновременно принимались сейсмокозой и донными сейсмическими станциями. Регистрация отраженных сейсмических сигналов велась в цифровой форме (частота квантования — 250 Гц).

Способы обработки. Полученный в эксперименте огромный объем сейсмического материала требует значительного времени для обработки. Эта работа в настоящее время производится в ТОИ ДВО РАН, в Токийском университете и в университете г. Чива. В нашей статье представлены некоторые результаты интерпретации уже обработанной части данных.

Обработка сейсмограмм НСП, проведенная в ТОИ, состояла в идентификации на записях основных отражающих границ, оцифровке сейсмограмм и в построении карты рельефа акустического фундамента. Цифровые сейсмограммы многоканального сейсмопрофилирования были обработаны в Институте океанических исследований Токийского университета по стандартному графу, включающему частотную фильтрацию, суммирование по ОГТ, обратную фильтрацию и миграцию. Магнитограммы пяти донных сейсмических станций предварительно обработаны в университете г. Чива. Процедура обработки включала несколько этапов и различалась для сигналов от взрывов и сигналов от ПИ. Сначала аналоговые сигналы, записанные на магнитофонах ДСС, были переведены в цифровую форму и профильтрованы частотными фильтрами. Сейсмические записи от пневмоисточников были подвергнуты τ — p -преобразованию и по преобразованным сейсмограммам методом τ -сумм [12] были построены скоростные разрезы верхней части земной коры. Стрессинг земной коры по сейсмограммам, полученным с помощью взрывов, определялось методом подбора годографов первых и последующих вступлений для двумерных моделей среды. При моделировании использовалась программа SEIS 83 [11], модифицированная Н. Хирата и Н. Шинжо [14] для условий проведения эксперимента с приповерхностными источниками и регистрацией сейсмических колебаний на дне. Подобранные теоретические годографы совпадали с наблюдаемыми в пределах 0,1 с. Начальная модель выбиралась на основании данных многоканального профилирования для определения рельефа подошвы осадочного слоя, на основании одномерных скоростных моделей, вычисленных методом τ -сумм для верхней части коры, и с помощью решения обратной задачи для головных волн в горизонтально-слоистой среде методом t_0 .

Предварительные результаты. Карта рельефа акустического фундамента Японской котловины, построенная по данным НСП, представлена на рис. 2. Поверхность акустического фундамента значительно расчленена, на северо-западе и на северо-востоке выделяются возвышенности Первенца и Богорова, на юге — возвышенность Ямато. В пределах

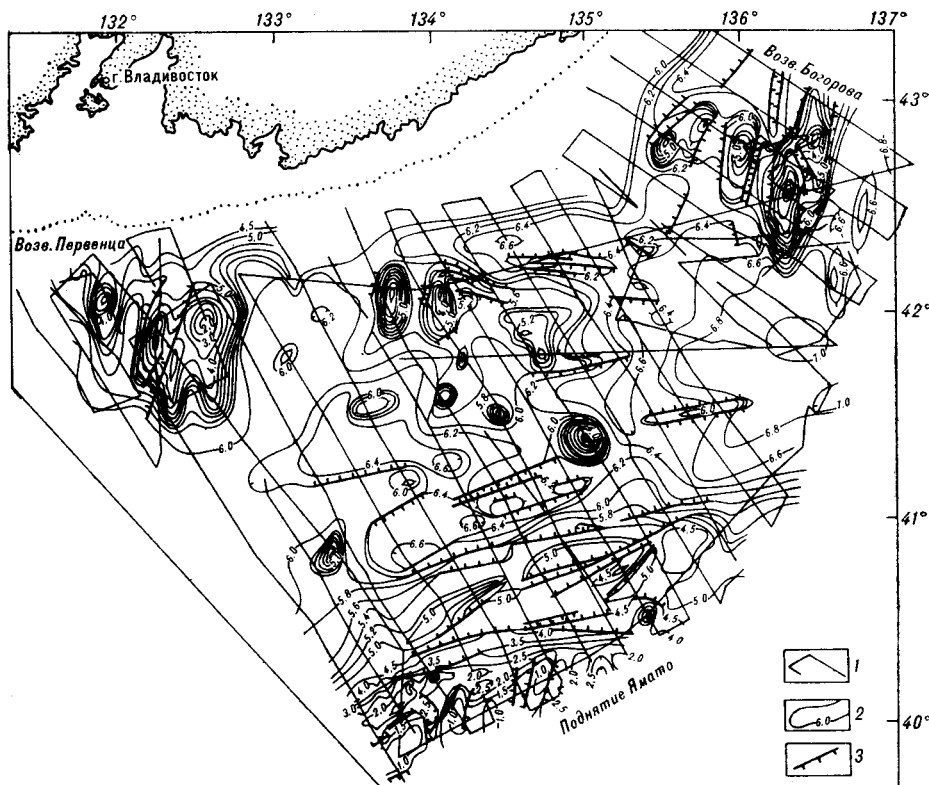


Рис. 2. Положение профилей НСП НИС «Профессор Гагаринский» и «Профессор Богоров» и рельеф кровли акустического фундамента.

1 — профили НСП, 2 — изоглубины (от поверхности моря) кровли акустического фундамента (цифры — двойное время распространения отраженной волны вдоль нормального луча); 3 — разрывные нарушения, выделяемые по записям НСП. Точечная линия — 200-метровая изобата.

собственно Японской котловины наблюдается большое число локальных поднятий, часть из которых проявляется в рельефе дна. В центре изученной площади эти поднятия образуют полосу субмеридионального простирания, на юге которой располагается гора Беляевского, на севере — гора Тарасова. На большей части котловины вне пределов поднятий поверхность акустического фундамента располагается на глубине 5,8—6,6 с (двойное время распространения вдоль нормального луча). На крайнем востоке между возвышенностями Богорова и Ямато выделяется обширная область погружения фундамента (глубина больше 6,8 с) с практически ровной поверхностью.

Вдоль профиля ГСЗ между ДСС NJ-14 и ДСС NJ-26 (профиль 1), по данным многоканального профилирования и НСП, поверхность акустического фундамента достаточно гладкая и характеризуется глубиной 6,9—7,1 с в западной части и 6,7—6,8 с — в восточной. Вдоль другого профиля ГСЗ (между NJ-13 и NJ-1, профиль 2) глубина залегания акустического фундамента меняется гораздо больше и составляет в центральной части профиля 6,9—7,0 с, на юге — 6,1—6,3 с, на севере — 6,5—6,7 с.

Акустическому фундаменту в Японской котловине соответствует сейсмический слой со скоростью продольных волн 3,5—4,0 км/с [24]. Пробуренная в 1989 г. по программе океанического бурения на северной окраине Японской котловины скважина глубоководного бурения 795 достигла акустического фундамента, который представлен здесь брекчированными и массивными известково-щелочными базальтами и потоками андезитовых лав. Возраст осадков, контактирующих с фундаментом, по палеонтологическим данным составляет 13—15 млн лет [27].

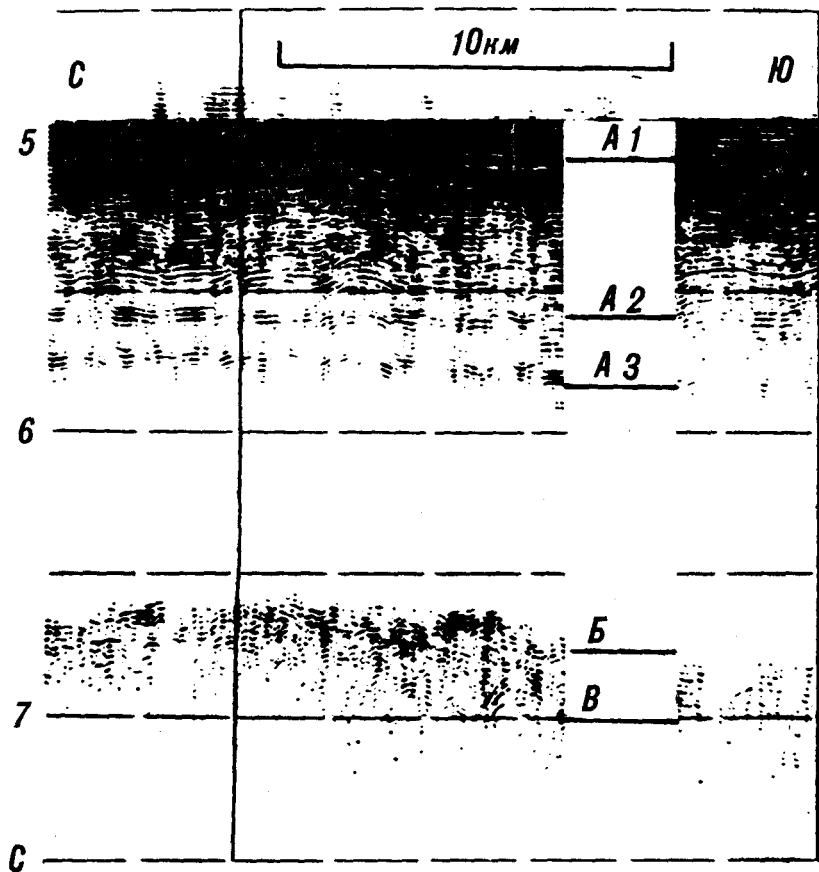


Рис. 3. Фрагмент сейсмограммы НСП вдоль профиля 1 ГСЗ. А — В — акустические комплексы.

В разрезе осадочного слоя вдоль профилей ГСЗ (данные НСП и многоканального профилирования) выделяются три акустических комплекса, которые обозначены нами А, Б и В. Верхний комплекс А разделяется на три подкомплекса (А1, А2 и А3) и характеризуется наличием хорошо выраженной субгоризонтальной слоистости (рис. 3). Общая мощность комплекса немного меньше 1,0 с и остается почти постоянной вдоль профилей. Комплекс Б сложен акустически прозрачными породами, в его толще местами наблюдаются слабые протяженные отражающие границы. Вдоль профиля 1 ГСЗ мощность комплекса постоянна и составляет около 1,0 с, вдоль профиля 2 его мощность меняется от 0,4 с на юге до 1,0 с на севере. Комплекс В соответствует акустическому фундаменту, в его толще регистрируются высокоамплитудные прерывистые в пространстве отражения.

Профили ГСЗ располагаются достаточно далеко от пробуренных в Японской котловине скважин (300, 301 [19] и 795 [27]), но принципиальное сходство акустического облика осадочного слоя вдоль наших профилей и в районе скважин позволяет осуществить привязку комплексов к геологическому времени. Результаты этой операции таковы: комплекс Б сложен породами миоценового возраста, комплекс А3 — породами нижнего плиоцена, А2 — породами верхнего плиоцена и, наконец, комплекс А1 сложен породами плейстоцен-голоценового времени.

Обработка записей ГСЗ к настоящему времени проведена на пяти донных сейсмических станциях. Три из них (NJ-23, 21 и 17) расположены на профиле 1, две — NJ-9 и NJ-7 — на профиле 2 (см. рис. 1). Обработаны записи продольных прострелок, т. е. для станций NJ-23, 21 и 17 при излучениях вдоль профиля 1, для станций NJ-9 и NJ-7 при

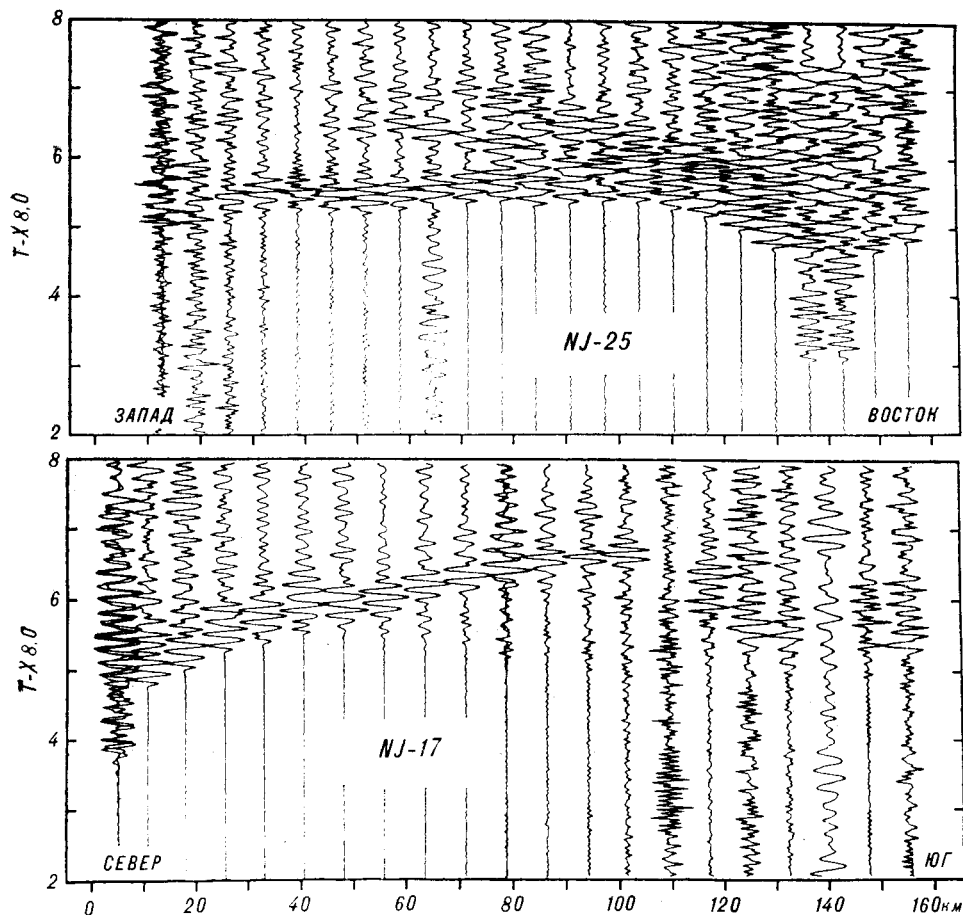


Рис. 4. Примеры сейсмограмм от взрывов, зарегистрированных ДСС NJ 25 (профиль 1) и NJ 17 (профиль 2).

По оси ординат — редуцированное время. Скорость редукции — 8 км/с.

излучениях вдоль профиля 2. Кроме того, обработаны записи станции NJ-17 при прострелке вдоль профиля 2. Сводные сейсмограммы, на которых зарегистрированы сигналы от взрывов, построены еще для ДСС NJ-25 на профиле 1.

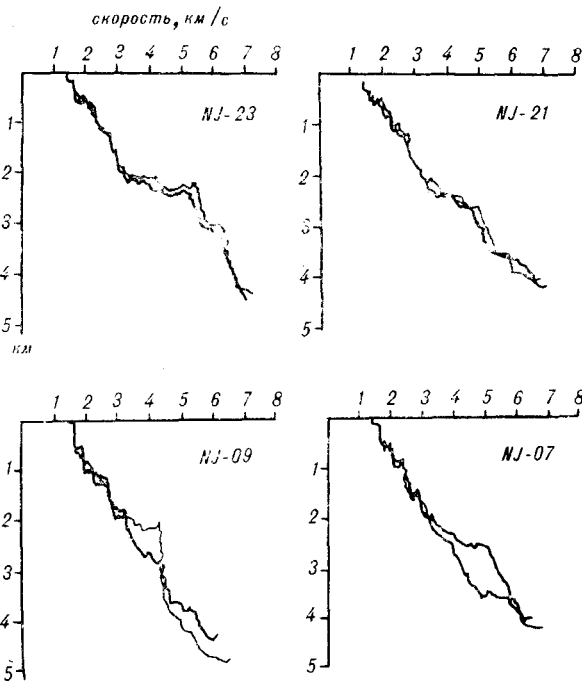
Все перечисленные станции с хорошим отношением сигнал/помеха записали преломления с кажущимися скоростями большими 8 км/с. В первые вступления эти преломления выходят в диапазоне расстояний 30—40 км. Дальность их регистрации достигает 140 км. На рис. 4 приведены примеры сейсмограмм, зарегистрированных ДСС NJ-25 на профиле 1 и ДСС NJ-17 при прострелке вдоль профиля 2. Преломленные волны, возбужденные пневмоисточником объемом 9 л, регистрируются на ДСС до расстояний 45—50 км. Возбуждения ПИ 40 л до 85—90 км.

По сейсмограммам ДСС, полученным с помощью ПИ, методом τ -сумм определены скоростные разрезы верхней части коры (рис. 5). Двойные линии на графиках каждой станции соответствуют определениям скорости по обе стороны от ДСС. Близкое расположение этих линий означает наличие горизонтальной однородности разреза верхней части коры. Из графиков следует, что скорость в осадках плавно увеличивается от 1,6 до 2,0—3,5 км/с. Резкое возрастание градиента скорости соответствует переходу от осадков ко второму слою.

Результатирующие разрезы земной коры приведены на рис. 6. Рельеф подошвы и кровли слоя со скоростью 3,1—3,5 км/с, соответствующего комплексу В, построен по данным многоканального профилирования отраженными волнами. Разрез верхней части коры до глубин примерно

Рис. 5. Скоростные разрезы верхней части земной коры, определенные методом τ -сумм по сейсмограммам ДСС от пневмоисточника.

Каждая линия на графике отдельной станции соответствует определению скорости по одну сторону от ДСС.

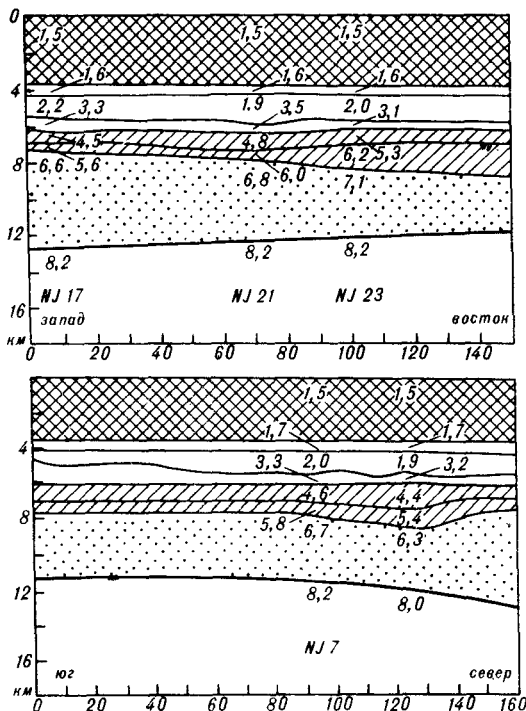


8 км от поверхности моря определен, главным образом, по сейсмограммам ДСС, полученным с пневмоисточниками. Нижняя часть разреза вычислена по сейсмограммам от взрывов. Из рисунков следует, что земная кора в исследованном районе Японской котловины имеет мощность 8,0—8,5 км. Ее разрез представлен осадочным слоем; слоем 2, который подразделяется на слои 2В и 2С; третьим слоем. Скоростная структура и мощность коры здесь подобны соответствующим параметрам земной коры Северо-Западной котловины Тихого океана.

Обсуждение результатов и заключение. Акустический фундамент, совпадающий с кровлей слоя 2, по результатам съемки НСП, расположен в Японской котловине на глубинах меньших 6,6 с и лишь в северо-восточной ее части глубина фундамента достигает 7 с. Хорошо известна связь между глубиной погружения кровли консолидированной коры, мощностью литосферы и ее возрастом в океане. Установлена эта связь и для задуговых бассейнов западной части Тихого океана. Поэтому можно предположить, что земная кора Японской котловины разновозрастна и ее мощность отличается для юго-западной и северо-восточной частей.

Рис. 6. Разрезы земной коры вдоль профиля ГСЗ 1 (верх) и профиля ГСЗ 2 (низ).

Цифры на разрезах — скорости продольных сейсмических волн в км/с. Положение ДСС см. рис. 1.



Приведенные на рис. 6 разрезы являются предварительными, так как использованы записи только пяти ДСС из 26 имеющихся; при восстановлении разрезов методом подбора моделей применены только кинематические критерии; верхняя часть разреза восстановлена при помощи способа t -сумм, имеющего хорошо известные ограничения; мы обрабатывали практически одиночные годографы, а не имеющуюся систему годографов. Несмотря на недостаточную глубину обработки данных, мы считаем, что, по крайней мере, один вывод, а именно наличие в исследованном районе земной коры океанического типа, является верным.

Анализ предварительных результатов позволил сформулировать две проблемы будущих исследований. По изложенным выше причинам можно ожидать значимое различие в строении коры северной и южной частей Японской котловины. Поэтому необходимо продолжить детальные работы ГСЗ в южной части котловины, а также провести специальные исследования для выявления характера изменения мощности коры между северной и южной частями.

Земная кора котловины Ямато, по современным данным [15], имеет мощность порядка 14 км. Возникает вопрос: где и каким образом земная кора Японской котловины переходит в земную кору котловины Ямато? Эта задача будущих исследований также разрешима с помощью детальных работ ГСЗ.

В заключение отметим следующее. Успешное проведение в 1990 г. экспедиции за последнее двадцатилетие советско-японского сейсмического эксперимента еще раз подтвердило истину о том, что международное научное сотрудничество является эффективным средством для познания Природы и преодоления разного рода границ, воздвигаемых между государствами по политическим причинам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Берсенев А. Ф., Ковылин В. М. Некоторые особенности глубинного строения земной коры южной части Японского моря // Изв. АН СССР. Сер. геол.—1969.— № 5.— С. 17—22.
2. Васильев Б. И., Карп Б. Я., Строев П. А., Шевалдин Ю. В. Строение подводной возвышенности Ямато по геофизическим данным.— М.: Изд-во МГУ, 1975.
3. Васильковский Н. П. Особенности строения и геологическая история северо-азиатской ветви Тихоокеанского пояса // Геология зоны перехода от Азиатского материка к Тихому океану.— М.: Наука, 1968.— С. 9—57.
4. Ковылин В. М. Строение земной коры в области Японского моря.— М.: Наука, 1979.
5. Ковылин В. М., Карп Б. Я., Шаяхметов Р. Б. Строение земной коры и осадочной толщи Японского моря по сейсмическим данным // Докл. АН СССР.—1966.— Т. 168, № 5.— С. 1048—1051.
6. Косминская И. П., Зверев С. М. Глубинное сейсмическое зондирование земной коры Сахалино-Хоккайдо-Приморской зоны.— М.: Наука, 1972.
7. Непрочнов Ю. П., Ковылин В. М., Селин Е. А. и др. Новые данные о строении земной коры в Японском море // Докл. АН СССР.—1964.— Т. 155, № 6.— С. 1429—1431.
8. Суворов А. А., Туезов И. Н., Жильцов Э. Г. и др. Результаты глубинного сейсмического зондирования земной коры в северной части Японского моря // Геология и геофизика.—1968.— № 8.— С. 59—67.
9. Сысоев Н. Н., Удищев Г. Б., Андреева И. Б. Результаты сейсмоакустических исследований дна Японского моря // Докл. АН СССР.—1958.— Т. 119, № 3.— С. 575—578.
10. Belousov U. U. Some problems of the development of the earth's crust and upper mantle of oceans // The crustal and upper mantle of the Pacific area.— Washington D. C., 1968.— P. 449—459.
11. Cerveny U., Psencic I. Program SEIS83, Numerical Modelling of Seismic wave fields in 2-D laterally varying layered structures by the ray method/Charles University.— Praha, 1983.
12. Diebold J. B., Stoffa P. L. The travel time equation, tau-p mapping, and inversion of common midpoint data // Geophysics.—1981.— N 46.— P. 238—254.
13. Hilde T. W., Wageman S. M. Structure and origin of the Japan Sea // The Western Pacific: Islands Arcs, Marginal Seas, Geochemistry/Univ. of Western Australia Press.— Perth, 1973.— P. 415—434.
14. Hirata N., Shinjo N. SEISOBS-modified version of SEIS83 for ocean bottom seismograms // Zisin (J. Seismol. Soc. Jpn). Ser. 2.—1986.— N 3.— P. 317—321.

15. *Hirata H., Tokuyama H., Chung T. W.* An anomalously thick layering of the crust of the Yamato Basin, southeastern Sea of Japan: final stage of the back-arc spreading // *Tectonophysics*.— 1989.— N 165.— P. 303—314.
16. *Isezaki N., Uyeda S.* Geomagnetic anomaly pattern of the Japan Sea // *Marine Geophys. Res.*— 1973.— V. 2, N 1.— P. 51—59.
17. *Isezaki N., Tamaki K., Bersenev I. I., Karp B. Ya., Lelikov E. P.* Geology and Geophysics of the Japan Sea.— Tokyo: Terra Publ., 1992.
18. *Jolivet L., Huchon P., Rangin C.* Tectonic setting of Western Pacific marginal basins // *Tectonophysics*.— 1989.— V. 160.— P. 23—47.
19. *Karig D. E., Ingle J. C. Jr. et al.* Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project. V. 31.— Washington: US Government Printing Office, 1975.
20. *Karp B. Ya., Hirata N., Katao H.* Crustal structure of the Japan Sea // *Geology and Geophysics of the Japan Sea*.— Tokyo: Terra Publ., 1992.— P. 32—43.
21. *Ludwig W. J., Murauchi S., Houtz R. E.* Sediments and structure of the Japan Sea // *Geol. Soc. Amer. Bull.*— 1975.— V. 86, N 5.— P. 651—663.
22. *Matsuda T., Uyeda S.* On the Pacific-type orogeny and its model extension of the paired belt concept and possible origin of marginal seas // *Tectonophysics*.— 1971.— N 11.— P. 5—27.
23. *Murauchi S.* Crustal structure in the mantle of Japan Sea from seismic exploration // *Kadaku*.— 1972.— N 42.— P. 367—375.
24. *Otofuji Y., Hayashida A., Torii M.* When was the Japan Sea opened: Paleomagnetic evidence from southwest Japan // *Formation of Active Ocean Margins*.— Tokyo: Terra Publ., 1985.— P. 551—566.
25. *Seno T., Maruyama S.* Paleogeographic reconstruction and origin of the Philippine Sea // *Tectonophysics*.— 1984.— N 102.— P. 53—84.
26. *Tamaki K.* Two models of back-arc spreading // *Geology*.— 1985.— N 13.— P. 475—478.
27. *Tamaki K., Pisciotto K., Allan J. et al.* Proc. ODP., Init. Repts., 127: College Station, TX (Ocean Drilling Program). 1990.

ТОИ ДВО РАН
Владивосток

Поступила в редакцию
4 ноября 1991 г.

*Институт исследований и землетрясений,
Токийский университет, Токио, Япония
Институт исследований океана,
Токийский университет, Токио, Япония
Отделение естественных наук,
университет г. Чуба, Чуба, Япония*

УДК 551.14

В. П. Пан, Ю. П. Змиевский

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛИТОСФЕРЫ И ТЕКТНИКА ПЛИТ

Произведен расчет профилей обобщенной прочности геосреды с учетом параболического характера изменения температуры солидуса пород от давления и использованием понятия эффективной вязкости. Это позволило по-новому представить реологическую структуру литосферы и наметить принципиальные различия в реологии континентальных и океанических плит.

При переносе тектоники плит на континенты одно из основных ее положений — жесткость плит — не позволяет объяснить образование широких зон разломов, складчатости, неоднородности (диффузионности) деформаций. Это заставило геологов усомниться в когерентной жесткости литосферных плит. В результате экспериментальных исследований по изучению распределения прочностных свойств геосреды по латерали и вертикали сформировалось представление о реологической расслоенности литосферы. Реологические профили, отображающие обобщенную прочность геосреды для различных регионов [1, 4, 5], показывают наличие одного, двух или трех жестких уровней (ядер) в разрезах литосферных плит, но в принципе не меняют представлений о наличии в их средней — нижней части мощного квазиупругого слоя, т. е. жесткой (прочной) несущей основы плит.