

МОЩНОСТЬ И ТИПЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ ЯПОНСКОГО МОРЯ ПО ДАННЫМ МОРСКОЙ И СПУТНИКОВОЙ ГРАВИМЕТРИИ

Р.Г. Кулинич, М.Г. Валитов

*Тихоокеанский океанологический институт им. В.И. Ильичева ДВО РАН, ул. Балтийская 43,
г. Владивосток, 690041, e-mail: rkulinich@mail.ru*

Поступила в редакцию 25 августа 2010 г.

По совокупности гравиметрических, альтиметрических и сейсмических данных рассчитана мощность земной коры под акваторией Японского моря. Выделены различные типы земной коры. Уточнен район распространения океанической коры и участки с континентальной корой различной степени деструкции. Показано, что определение мощности коры по данным спутниковой альтиметрии достаточно хорошо совпадает с результатами расчетов по данным наборных гравиметрических наблюдений.

Ключевые слова: гравиметрия, альтиметрия, граница Мохо, континентальная кора, океаническая кора, Японское море.

ВВЕДЕНИЕ

Северо-западный сектор Японского моря, большую часть которого занимает глубоководная Центральная котловина, почти вкрест простирания срезает южную оконечность Сихотэ-Алинской и Лаоелин-Гродековской складчатых систем. Здесь на небольшом расстоянии происходит радикальная перестройка земной коры: переход от зрелого континента к молодой океанической коре с исчезновением или существенной переработкой верхней сиалической оболочки, богатой рудными и нерудными полезными ископаемыми. По современным представлениям, это, как и формирование Японского моря в целом, является результатом мезозой-кайнозойской деструкции окраины азиатского континента и рифтогенеза, который сменился спредингом с образованием молодой океанической коры в восточной части глубоководной япономорской котловины. В результате сформировался район, в пределах которого тесно “сосуществуют” два радикально различных типа земной коры.

Этот район изучен достаточно хорошо. Однако для правильного понимания условий и механизмов деструктивных процессов, определивших современный облик Японского моря, необходимо решение проблемы взаимосвязи морских и обрамляющих наземных геологических структур.

Одним из аспектов проблемы является выяснение характера структурно-вещественной перестройки

континентальной коры в полосе между окраиной континента и основанием материкового склона, где начинается океаническая кора. Сюда входят три вопроса указанной проблемы: 1) существует ли зона постепенного преобразования (трансформации) коры или процессы деструкции привели к обрушению и “растаскиванию” блоков неизменной континентальной окраины; 2) если такая зона существует, каковы ее размеры, как далеко она распространяется в глубь континента; 3) в чем состоит трансформация континентальной коры: ее глубинные и геологические факторы.

Решение поставленных вопросов имеет существенное фундаментальное и прикладное значение. С точки зрения фундаментальных знаний, указанные исследования позволяют получить информацию, необходимую для адекватной реконструкции событий, связанных с формированием окраинного бассейна. В прикладном аспекте эти исследования дают возможность проследить характер возможных структурно-вещественных изменений и распространения береговых геологических структур с известными рудными и нерудными полезными ископаемыми под морскую акваторию, что важно для прогноза акваториальной части этого района на различные полезные ископаемые. До настоящего времени эта проблема целенаправленно никем не изучалась.

Решение указанной проблемы тесно связано с изучением глубинного строения рассматриваемого района, в силу чего в комплексе исследований при-

оритетными являются глубинные геофизические методы, в частности, сейсморазведка и гравиметрия. Из анализа имеющихся в изучаемом районе данных выяснилось, что для решения указанной проблемы наибольший объем информации можно извлечь из накопленных данных морской и наземной гравиметрии, подкрепленных данными спутниковой альтиметрии. Результаты профильного и точечного сейсмического зондирования, имеющиеся в небольшом объеме как для акваториальной, так и наземной части исследуемого района, могут быть использованы в качестве “опоры” для гравиметрических исследований.

Как известно, возможности гравиметрии для исследования рассматриваемой проблемы основаны на том, что одним из параметров, отличающих континентальную кору от океанической, является их существенно различная мощность (глубина залегания границы Мохоровичича, или Мохо). Этот параметр с приемлемой достоверностью определяется с помощью гравиметрии в сочетании с опорными данными сейсмического зондирования, что дает возможность определить рельеф основания земной коры в заданном районе.

Ранее уже делались попытки определения мощности коры под акваторией Японского моря по данным гравиметрии с построением соответствующих карт (схем). Одна из первых схем указанного содержания была опубликована И.К. Туезовым еще в 1969 г. [12]. Схемы мощности коры позднее публиковались также Н.А. Беляевским [3], П.А. Строевым [9] и др. В настоящее время достоверность указанных схем уже не соответствует накопленному объему фактических данных и знаний.

В настоящей статье на базе новейших гравиметрических данных вновь рассматривается глубинное строение акваториальной части исследуемого района в предположении, что общий анализ характера трансформации континентальной коры южного Сихотэ-Алиня в зоне сочленения с корой Японского моря будет представлен в следующей публикации выполненных исследований.

ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для определения мощности земной коры (глубины залегания границы Мохо от уровня моря) прежде всего были использованы результаты судовых гравиметрических работ, выполненных в составе комплексной геофизической съемки, проведенной ТОИ ДВО РАН в северо-западной части Японского моря в период 1986–2003 гг. Помимо этого использованы результаты сейсмического зондирования с донными станциями и профилирования, выполненные здесь в

последние годы отечественными и зарубежными организациями [5–7, 15, 16], а также данные спутниковой альтиметрии по всему япономорскому бассейну. На рис. 1 показан общий план исследуемой площади и схема профилей указанной геофизической съемки, включившей, помимо гравиметрии, непрерывное сейсмическое профилирование (НСП) с пневматическими источниками импульсов и магнитотометрию, а также сейсмические профили, вдоль которых было выполнено глубинное зондирование с использованием донных сейсмических станций на всей акватории этого бассейна в разные годы и разными научными организациями [1, 14, 16, 17, 19, 21].

Материалом для расчетов глубины залегания границы Мохо на изученной площади послужил каталог гравитационных аномалий в свободном воздухе, вычисленных по результатам указанной съемки. Суммарная погрешность аномалий составляет ± 2.5 мГал. Построенная по этим данным карта гравитационных аномалий представлена на рис. 2. При сопоставлении рисунков 1 и 2 видно, что в пределы гравиметрической карты полностью попадает лишь один сейсмический профиль, располагающийся южнее подводной возвышенности Тарасова, и оконечности еще двух профилей, расположенных в западной части глубоководной котловины Японского моря. Все они были отработаны в 90-е годы прошлого столетия сотрудниками ТОИ ДВО РАН совместно с японскими учеными (Университет г. Чива, Япония). Эти работы впервые дали достоверные численные значения глубины залегания Мохо в восточной половине глубоководной котловины Японского моря и подтвердили ранее предполагаемый океанический тип коры в этом районе. Указанные немногочисленные данные послужили основой для оценки достоверности расчетов по гравитационным аномалиям.

Для расчета глубины залегания границы Мохо была использована ее статистическая зависимость от величины осредненных гравитационных аномалий, мощности донных осадков и глубины морского дна, заимствованная из работы [11] и успешно апробированная ранее в условиях Южно-Китайского [8] и Японского [4] морей:

$$H = 33.49 + 0.063\Delta g_{св.в.} - 0.00482h_g - 0.0017h_{oc},$$

где H – глубина залегания поверхности М, км; $\Delta g_{св.в.}$ – аномалия в свободном воздухе, мГал; h_g – глубина морского дна, м; h_{oc} – мощность осадочного слоя, м. Глубины морского дна (h_g) определялись по данным эхолотного промера. Результаты сейсмического профилирования послужили основой для определения мощности осадочных отложений (h_{oc}). Для расчетов использовались осредненные значения всех входящих

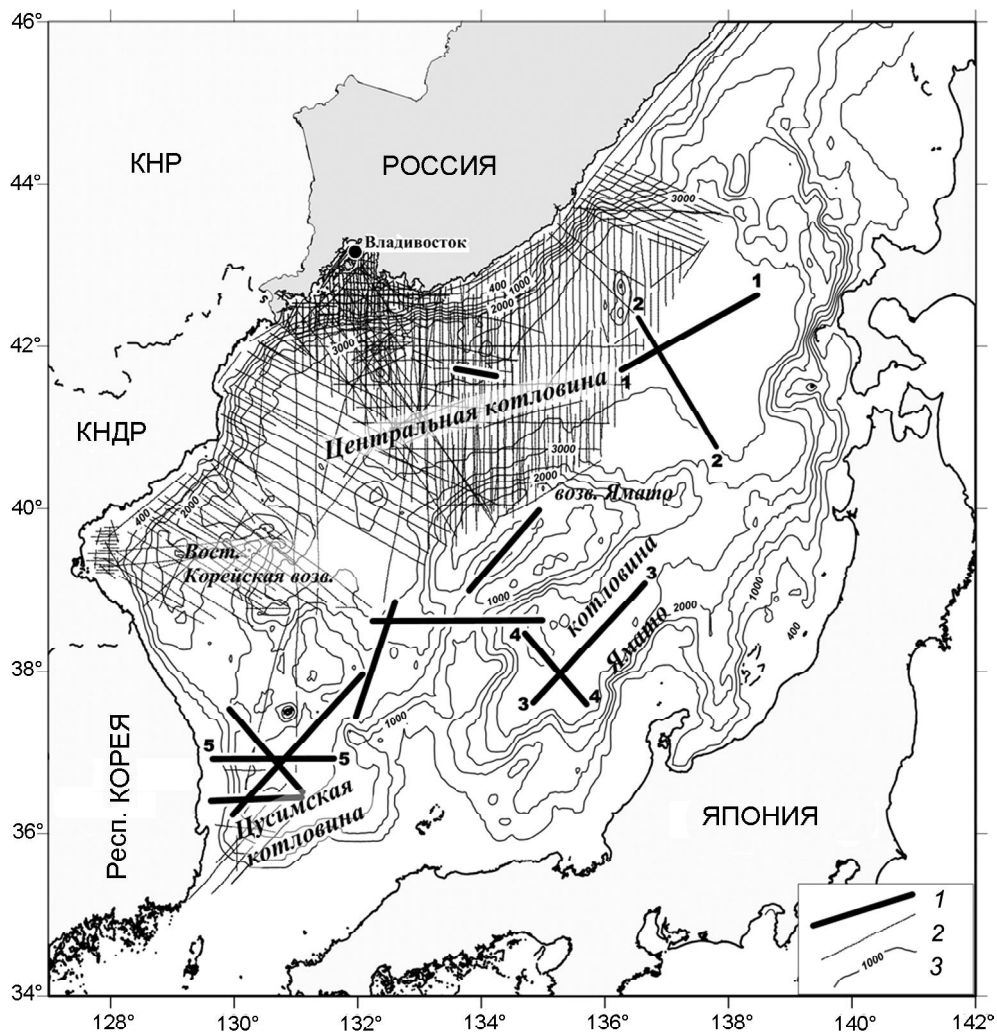


Рис. 1. Район исследований и схема геофизической изученности, использованной в данной работе.

1 – профили сейсмического зондирования с использованием донных станций, 2 – профили набортной гравиметрической съемки, 3 – изобаты морского дна, м.

в формулу составляющих. Размер окна осреднения выбирался на основе анализа автокорреляционной функции поля. Для этого по отдельным профилям, сечениям наиболее характерные морфоструктуры исследуемого района, вычислялась нормированная функция автокорреляции гравитационного поля, рельефа дна и мощности осадочного слоя. Среднее значение ширины аномалий в свободном воздухе над изучаемыми структурами составило 25 км. На этом основании размер окна осреднения был выбран равным 50×50 км. По указанной сетке были сделаны соответствующие расчеты. Результаты расчетов были сопоставлены с данными трех вышеуказанных профилей ГСЗ, расположенных в пределах гравиметрических работ и в непосредственной близости [6, 15, 20]. Среднее расхождение не превысило 1.3 км, что показало достаточно хорошую достоверность сделанных расчетов. На этом

основании была построена карта изоглубин границы Мохо (от уровня моря), включающая преимущественно Центральную котловину и ее ближайшее обрамление (рис. 3). Последняя была использована для районирования северо-западной части Японского моря по типам земной коры. До этого, в силу ограниченного объема сейсмических исследований с донными станциями в этом районе, общий контур участка с океанической корой лишь предполагался с опорой на батиметрию котловины. Использование гравиметрии, на наш взгляд, дало возможность продвинуть эту проблему в нужном направлении и уточнить площадь распространения океанической коры в этом районе с достоверностью, приемлемой на данном этапе его изучения.

Наличие данных спутниковой альтиметрии и вычисленных по ним гравитационных аномалий в

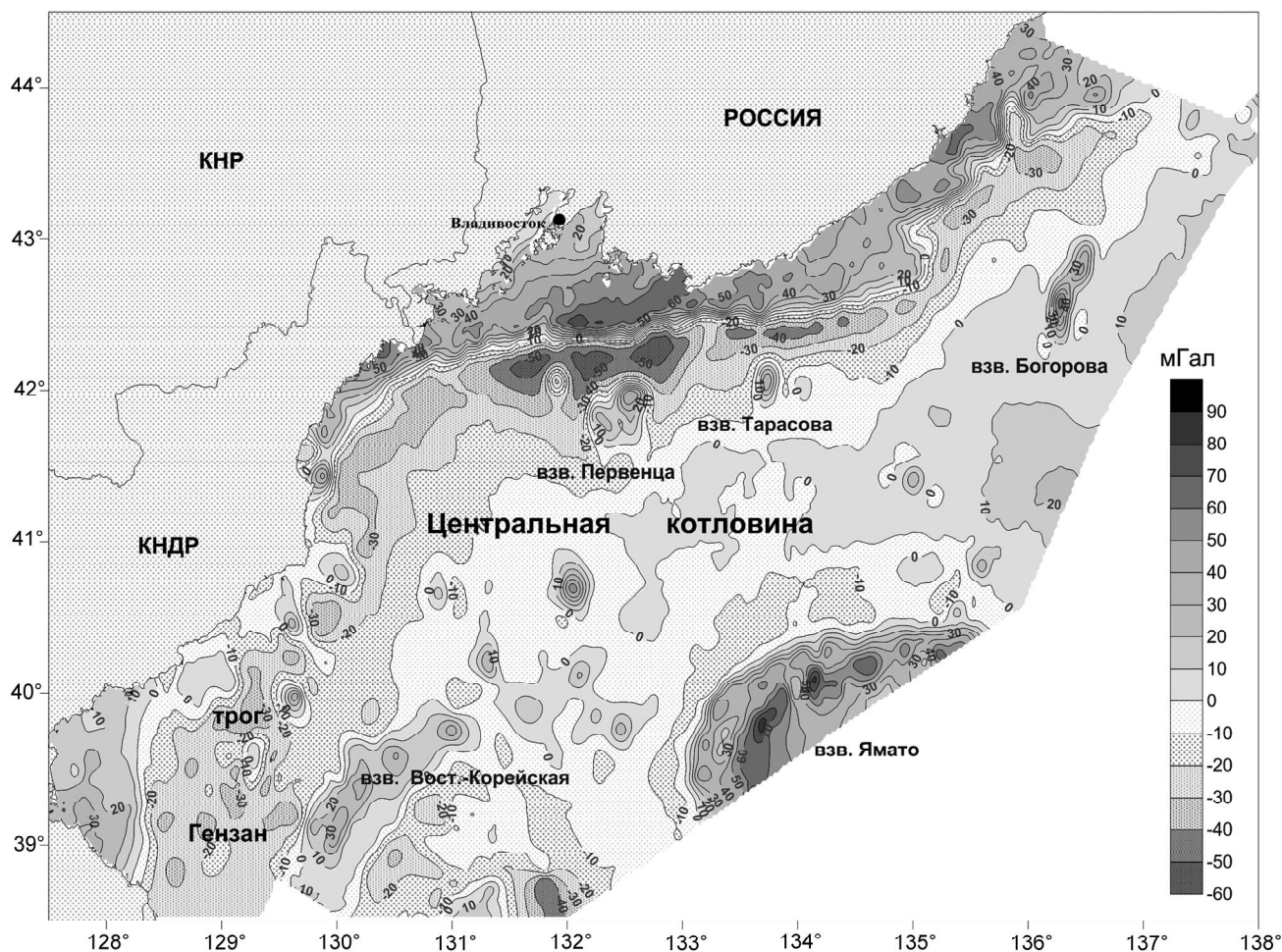


Рис. 2. Карта гравитационных аномалий в свободном воздухе, построенная по данным набортных измерений.

свободном воздухе [18, 24] позволило сделать оценку их сопоставимости с результатами вышеописанных морских гравиметрических наблюдений и на этой основе произвести дублирующие расчеты глубин залегания границы Мохо для акватории Центральной котловины Японского моря. Для этого спутниковые данные были обработаны по указанной выше методике. Затем, используя приведенную выше статистическую зависимость и заменив $\Delta g_{св.в}$ на $\Delta g_{альт}$ – аномалия силы тяжести в свободном воздухе по данным спутниковой альтиметрии, мы рассчитали глубины залегания границы Мохо. Глубины морского дна были получены из батиметрической базы данных геофизической съемки. Данные о мощности осадочного чехла заимствованы из работы В.Н. Карнауха и Б.Я. Карпа [5]. Полученные результаты были сопоставлены с ранее вычисленными глубинами залегания границы Мохо по данным судовой гравиметрии. Анализ указанного сопоставления показал, что среднеквадратическая ошибка определения глубины границы Мохо

по альтиметрическим данным относительно определений по набортным измерениям силы тяжести не превышает ± 1 км. Дополнительно для наглядности была построена гистограмма расхождений между этими параметрами, которая представлена на рис. 4.

Приведенная выше приемлемая сходимость результатов морской и спутниковой гравиметрии позволила распространить расчет глубин залегания границы Мохо для всей акватории Японского моря. Такие расчеты были выполнены по вышеуказанной методике, с использованием глубин моря, взятых из базы данных GEBCO с детальностью 1 минута [13], открытой для доступа в сети Интернет. Сведения о мощности осадочного слоя были взяты из [5]. В отличие от района Центральной котловины, здесь с учетом более крупных размеров подводных морфоструктур (возвышенности Ямато, Восточно-Корейская и др.) величина окна осреднения полей была принята равной 100×100 км. Для оценки достоверности выполненных расчетов их результаты были сопоставлены с

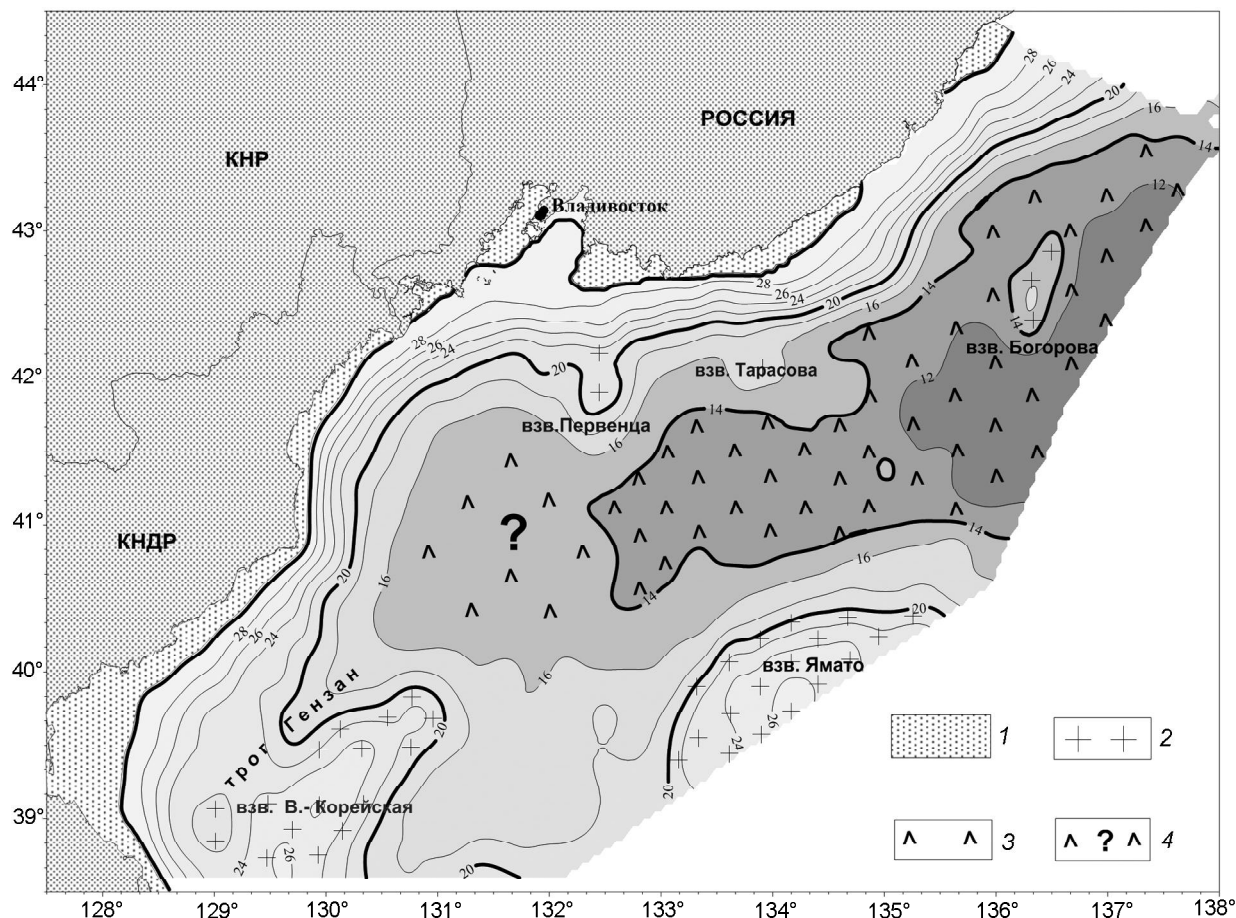


Рис. 3. Карта изоглубин границы Мохо (в км от уровня моря) и типы земной коры северо-западной части Японского моря, по данным морской гравиметрии.

1 – континентальная кора, 2 – редуцированная континентальная кора, 3 – океаническая кора, 4 – предположительно океаническая с увеличенной мощностью осадочного покрова (субокеаническая ?).

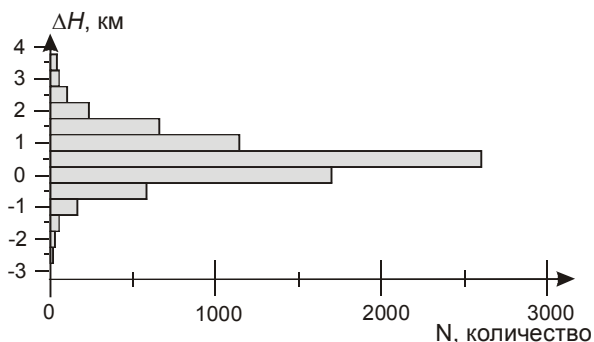


Рис. 4. Гистограмма распределения расхождения глубины залегания границы Мохо, рассчитанного по судовым и альтиметрическим данным.

данными сейсмических зондирований вдоль наиболее представительных профилей, обозначенных на рис. 1. Среднее расхождение между результатами расчетов глубины залегания границы Мохо и данными сейми-

ческого зондирования оказалось порядка 2 км. Сопоставимость альтиметрических и сейсмических данных иллюстрируется на нескольких сейсмических профилях, представленных на рис. 5.

Из рисунка видна приемлемая сходимость альтиметрических и сейсмических данных. Исключение составляет профиль, отработанный в котловине Ямато. Здесь альтиметрические данные полностью совпадают с сейсмическими только в центре профиля и котловины. К бортам расхождение увеличивается существенно. При этом данные альтиметрии свидетельствуют о погружении Мохо в сторону о. Хонсю и подводной возвышенности Ямато также с корой континентального происхождения, что является логичным и естественным. По сейсмическим данным, граница Мохо испытывает подъем в указанных направлениях, что объяснить трудно. По результатам расчетов и анализа их достоверности была построена карта изоглубин границы Мохо, охватывающая всю акваторию

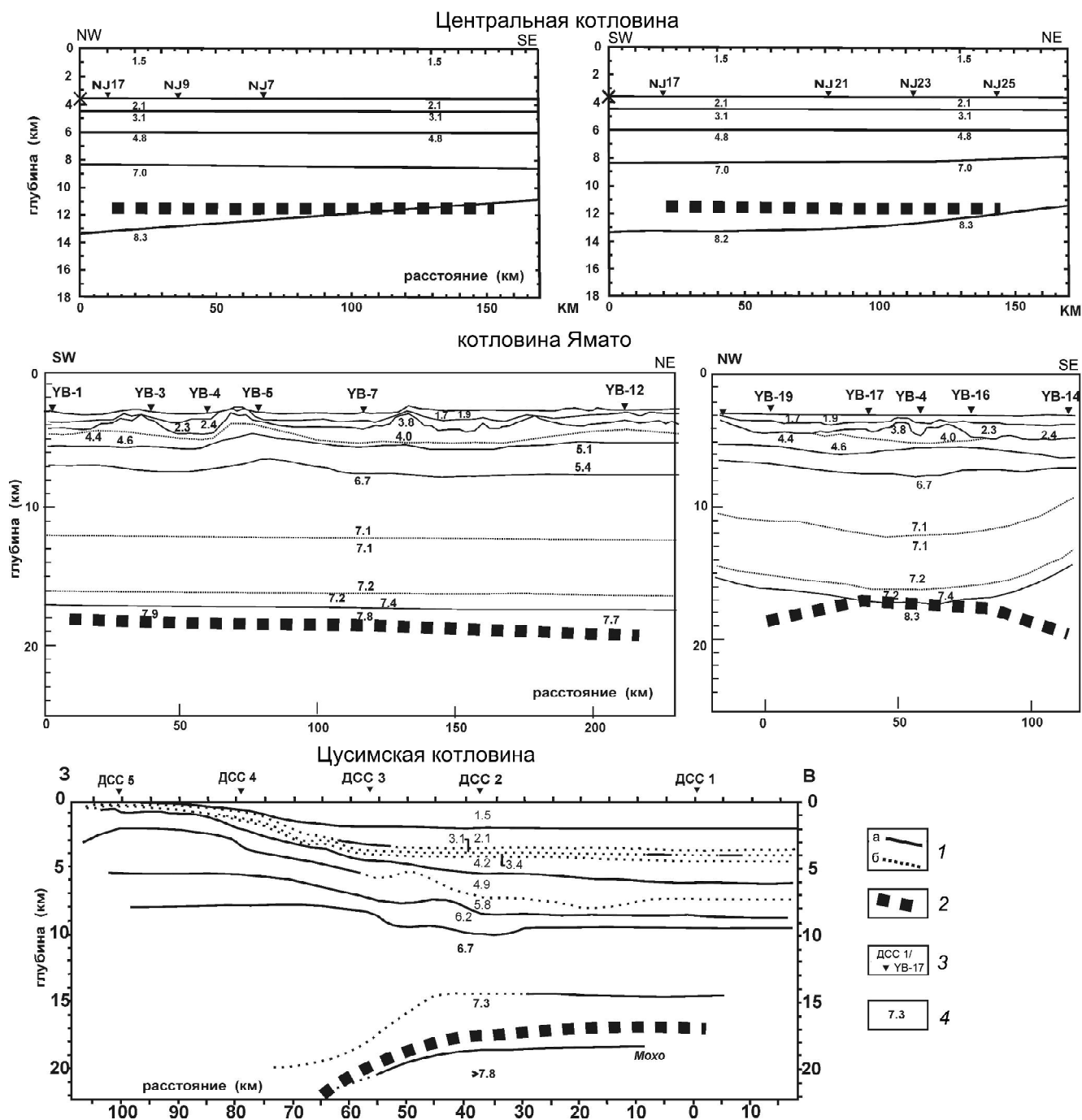


Рис. 5. Сопоставление результатов расчета глубины залегания границы Мохо по альтиметрическим и сейсмическим данным.

1 – сейсмические границы: а – достоверные, б – предполагаемые; 2 – глубина залегания границы Мохо по альтиметрическим данным, 3 – сейсмические станции с порядковыми номерами, 4 – сейсмические скорости.

Японского моря (рис. 6) с сечением основных изолиний 4 км. Для повышения наглядности полученных результатов на карту нанесены и дополнительные (условные) изолинии.

На базе альтиметрической карты осуществлено районирование япономорского бассейна по типам земной коры, построена карта типов коры, представленная на рис. 7.

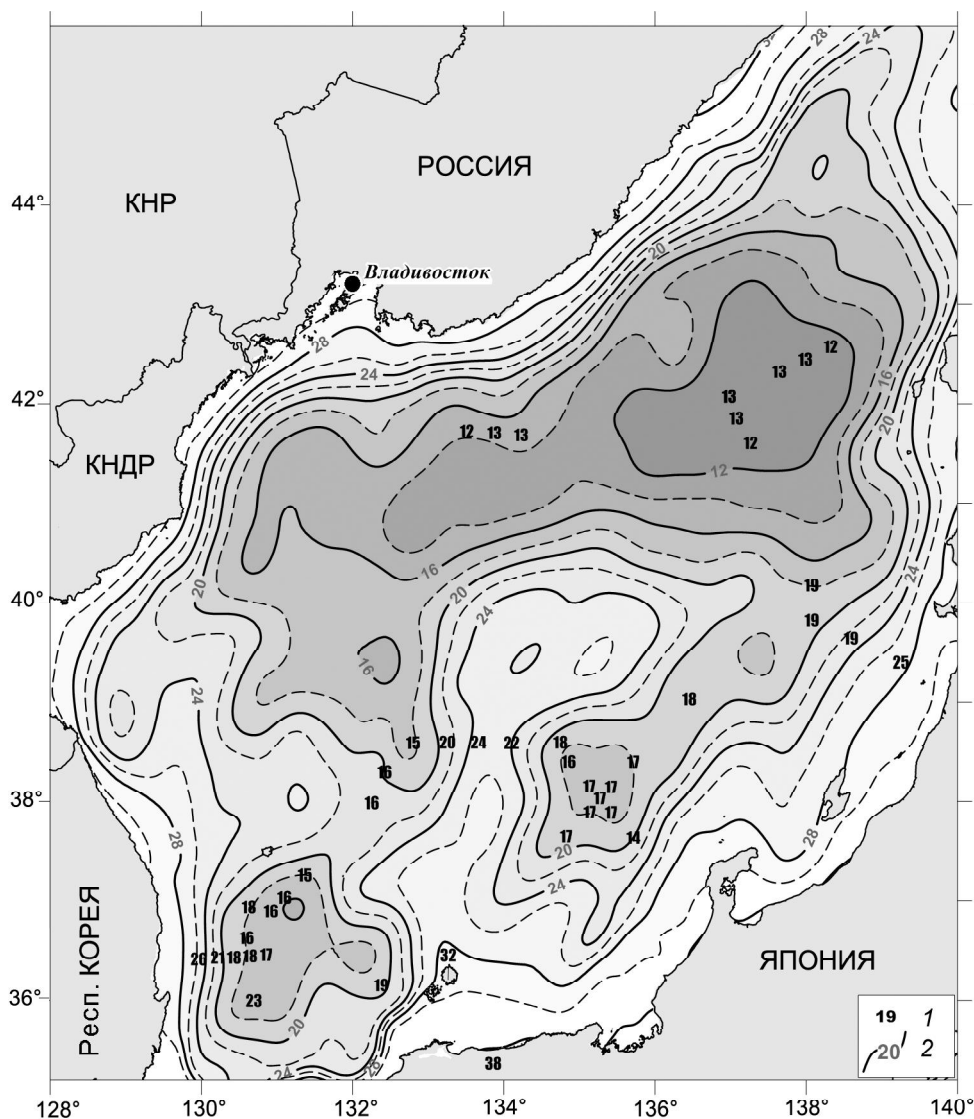


Рис. 6. Карта изоглубин границы Мохо Японского моря (в км от уровня моря) по альтиметрическим данным. 1 – значения глубин залегания границы Мохо по сейсмическим данным, 2 – изоглубины Мохо по альтиметрическим данным.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как видно из рис. 3, рельеф основания коры Центральной котловины Японского моря и ее непосредственного обрамления отличается значительной сложностью, что свидетельствует о гетерогенности различных участков этого района. По этому признаку исследуемая площадь может быть разделена, прежде всего, на два крупных участка, граница между которыми проходит примерно по меридиану подводной возвышенности Первенца (132°30'). Восточнее этой границы располагается наиболее глубоководная часть котловины с максимальным выступом границы Мохо, глубина залегания которой изменяется от 14 км на западе до 12 км и менее на востоке. Без слоя воды мощность земной коры здесь составляет соот-

ветственно 10.5–8.5 км, что хорошо согласуется с результатами сейсмических исследований [15]. Этот участок имеет клинообразную форму восток-северо-восточного простирания, осложнен локальными утолщениями коры до 16–20 км в пределах подводных возвышенностей Богорова, Тарасова и Первенца.

Западная половина котловины существенно отличается от восточной большими глубинами границы Мохо (16–18 км) и иным рисунком ее рельефа. Центральное место здесь занимает обширный выположенный участок западной оконечности котловины почти изометричной формы, в пределах которого глубина залегания Мохо составляет 15–16 км. От этого участка в юго-западном и южном направлениях отходят два “апофиза” с относитель-

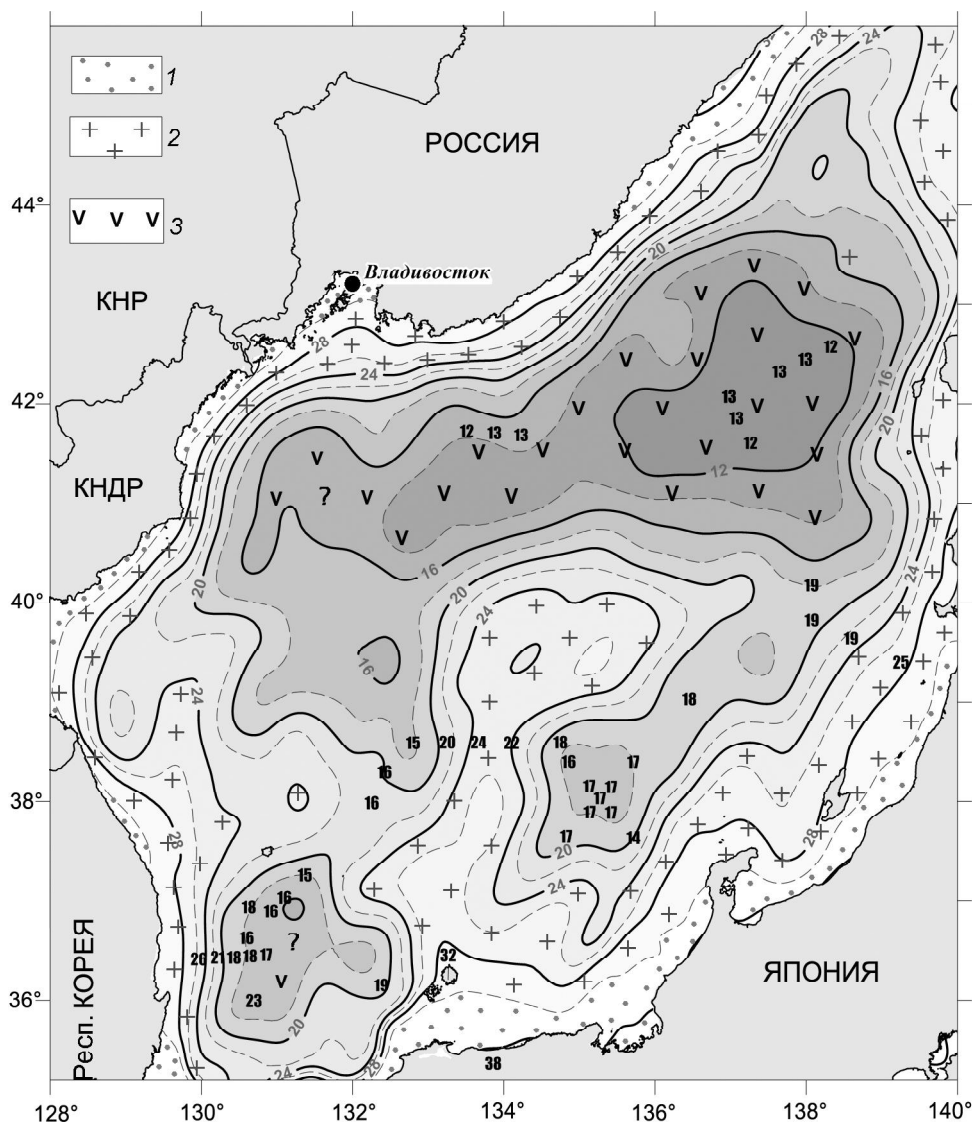


Рис. 7. Карта типов земной коры Японского моря по альтиметрическим данным.

1 – континентальная кора, 2 – редуцированная континентальная кора, 3 – океаническая кора. Знаком вопроса обозначены участки с предположительно океанической (субокеанической) корой (возможно, с остатками континентальной коры, но с увеличенной мощностью базитов и осадочного чехла). Остальные условные знаки см. на рис. 6.

но высоким положением поверхности Мохо, разделенные Восточно-Корейской подводной возвышенностью. Первый из них соответствует трогу Гензан. Поверхность Мохо в его пределах располагается на глубинах 18–22 км. Второй “апофиз” с глубинами до границ Мохо 17–20 км разделяет подводные возвышенности: Восточно-Корейскую и Ямато. Мощность коры в пределах указанных морфоструктур достигает 26 км. Переход от глубоководной котловины к континентальному шельфу сопровождается интенсивным опусканием границы Мохо до глубин 30 км.

Как известно, существует статистическая зависимость между мощностью (глубиной залегания гра-

ницы Мохо) и типом земной коры. Отсюда, представленная карта послужила источником информации для типизации коры, подстилающей рассматриваемую акваторию Японского моря.

Главным параметром, определяющим тип коры, в данном случае является глубина залегания поверхности Мохо (или мощность твердой коры после исключения толщины водного слоя). По установившейся классификации [2], мощность твердой океанической коры под впадинами западной части Тихого океана может варьировать в интервале 7–10 км. С этой позиции, в соответствии с представленной картой и с учетом глубин морского дна, площадь наиболее веро-

ятного распространения океанической коры приурочена к восточной части Центральной котловины и на рис. 3 ограничивается примерно изолинией 12 км. Согласно расчетам, мощность коры, лишенной водного слоя, здесь должна быть около 8–9 км. Как уже отмечено, это хорошо согласуется с данными вышеупомянутых сейсмических работ, полученными ранее [15]. Если допустить, что океаническая кора может иметь мощность 10–11 км, то площадь ее вероятного распространения значительно увеличивается. На рассматриваемом рисунке граница этой площади соответствует примерно изолинии 14 км.

Как видно, океаническая кора в данном варианте занимает практически всю площадь восточного сектора глубоководной котловины, ограничиваясь на западе указанной выше меридиональной зоной (132°30′). Клинообразная форма участка с океанической корой, отмеченная и в некоторых предшествующих работах [22, 23], видимо, не случайна и отражает генеральные черты и общие границы изначальной рифтовой системы, в пределах которой процессы растяжения приобрели экстремальный характер и привели к разрыву ранее существовавшей континентальной окраины с образованием молодой океанической коры. Формирование системы происходило, видимо, в проградационном режиме, направленность рифтового “клина” в сторону континента, на наш взгляд, может быть объяснена последовательным увеличением сил сопротивления разрыву по мере продвижения указанного процесса со стороны активной океанской плиты в пределы консолидированной материковой глыбы. Подобная картина наблюдается и в Южно-Китайском море, где глубоководная котловина с океанической корой, скорее всего, формировалась по сходной схеме [8].

Западная глубоководная часть котловины Японского моря подстилается корой, мощность которой, строго говоря, уже не позволяет уверенно отнести ее к океаническому типу. Окончательная его типизация возможна после выполнения здесь глубинного сейсмического зондирования. Вся остальная площадь бассейна должна подстилаться корой с характеристиками переходного ряда между океаническим и континентальными типами, отражая разную степень деструкции и переработки исходной материковой окраины. Высокой степени переработки подверглась кора во впадинах, к которым относятся уже упомянутые трог Гензан и участок между Восточно-Корейской возвышенностью и Ямато. Наиболее сохранившейся является кора указанных поднятий, а также возвышенности Первенца, в пределах которых ее можно отнести к редуцированной континентальной.

Карта изоглубин границы Мохо, построенная по спутниковым данным (рис. 6), демонстрирует общую

картину распределения мощности коры под Японским морем. Как видно из сопоставления данной карты с предыдущей, общая конфигурация изоглубин основания коры, рассчитанных как по альтиметрическим данным, так и по результатам судовых измерений, в целом совпадает. В связи с этим ниже приводится описание особенностей рельефа поверхности Мохо только за пределами района судовых гравиметрических работ.

Прежде всего, данная карта дает полное представление о площади распространения океанической коры под Центральной котловиной, которая на основе вышеприведенных доводов ограничивается примерно изолинией 14 км. Надо отметить, что генеральный контур площади с океанической корой, предполагаемый по данной карте, не противоречит взглядам, изложенным в предшествующих работах. В связи с этим полученные гравиметрические данные можно рассматривать в качестве еще одного аргумента в пользу развиваемых взглядов на глубинное строение Центральной котловины и связанного с ними представления об условиях и механизмах ее формирования [22, 23 и др].

Южнее Центральной котловины рельеф поверхности Мохо образует сложную мозаику прогибов и поднятий, отражающих результат деструкции и тектономагматической переработки ранее существовавшей здесь окраины континента. Наиболее интенсивный подъем кровли мантии после Центральной котловины наблюдается в котловинах Цусимской и Ямато, а также на участке между подводными возвышенностями Восточно-Корейской и Ямато. Последние представляют собой глубинные апофизы Центральной котловины, объединяемые с ней на уровне 20-ти километровой глубины залегания поверхности Мохо. В отличие от них, Цусимская котловина имеет изолированную глубинную структуру. Глубина залегания поверхности Мохо от уровня моря на участке между возвышенностями Восточно-Корейской и Ямато в среднем составляет 18 км, однако на небольшом участке она уменьшается до 15–16 км. В пределах котловины Ямато кровля мантии залегает на глубинах 18–20 км, на отдельных участках она повышается до 17–18 км. Наконец, на большей части Цусимской котловины глубина залегания границы Мохо составляет 17–18 км, однако на севере этой структуры кровля мантии поднимается до 15–16 км.

Крупнейшие подводные поднятия Японского моря фиксируются погружением кровли мантии. Глубина ее залегания под возвышенностью Ямато достигает 26–27 км, а под Восточно-Корейской возвышенностью – 24–26 км. Между возвышенностью Ямато и расположенным южнее поднятием Оки по

кровле мантии наблюдается непосредственная связь. Визуально они образуют единую структуру, разделяющую котловины Ямато и Цусимскую. Максимальное погружение кровли мантии, как и в случае южного Приморья, происходит в шельфовой зоне п-ова Корея и Японских островов, где глубина залегания границы Мохо достигает 30 км.

Как видно из рис. 7, типизация северной половины япономорского бассейна, представленной Центральной котловиной и ее непосредственным обрамлением, выполненная по альтиметрическим данным, практически повторяет таковую, сделанную по данным набортной гравиметрии (рис.3). Данная карта лишь уточняет положение восточной границы участка с океанической корой. Эта граница соответствует замыканию наиболее глубокой части Центральной котловины, вытягиваясь на северо-востоке в сторону Татарского пролива и максимально приближаясь к побережью Японских островов на востоке. На западе уверенно определяемая океаническая кора выклинивается к меридиану 132°30'. Далее к западу выделяется незначительный по величине участок, где существование океанической коры можно лишь предполагать. Этот участок выделен со знаком вопроса.

В пределах южной половины Японского моря преобладает мозаика структур, отражающих различную степень деструкции ранее существовавшей континентальной коры. Как уже отмечалось, наиболее сохранившимися структурами, кору которых можно отнести к редуцированной континентальной, являются подводные возвышенности Ямато, Оки, Восточно-Корейская, Первенца, Тарасова, Богорова, а также континентальный и островной шельфы. Высокую степень переработки претерпела кора во впадинах. Сюда относятся, прежде всего, котловины Цусимская и Ямато. Особого внимания требует первая из них. Глубина залегания границы Мохо, составляет здесь 17–18 км с местным подъемом на севере этой структуры до 15–16 км. Консолидированная кора в ее пределах составляет 9–12 км. Выше залегает достаточно мощный чехол осадочных отложений. Как видно, мощность коры здесь больше, чем в Центральной котловине, где уверенно установлена океаническая кора, но меньше, чем в остальных котловинах Японского моря. С другой стороны, ситуация здесь подобна той, которая уже отмечена для западной периферии Центральной котловины, вблизи континентального склона юго-западного Приморья и КНДР. Эти характеристики дают некоторое основание предполагать, что кора данного участка Японского моря в настоящее время является “почти океанической”, а в эволюционном аспекте – недоразвитой океанической корой.

Для подтверждения обратимся к результатам имеющихся сейсмических работ. Некоторое время назад в рамках международной экспедиции, участниками которой были ученые ТОИ ДВО РАН, университета г. Чива (Япония) и института КОРДИ (Республика Корея), было выполнено сейсмическое зондирование с использованием трехкомпонентных донных сейсмических станций вдоль профиля, протягивающегося от южнокорейского шельфа до центральной части Цусимской котловины [7]. По данным указанных работ были определены мощность и скорость продольных волн во всех слоях коры. Мощность осадков в центральной части котловины достигает 3–5 км. Консолидированная кора разделена на верхнюю, среднюю и нижнюю. Верхняя кора имеет мощность 1.5–3.0 км, скорость – 6.0–6.1 км/с; мощность средней коры – 4.5 км, скорость – 6.6 км/с; мощность нижней коры – 4.5 км, скорость – 7.4 км/с. Общая мощность консолидированной коры без осадочного слоя составляет 10–12 км, а глубина залегания границы Мохо – 17–18 км. Как видно, мощность коры, рассчитанная по данным гравиметрии, хорошо совпадает с сейсмическими данными. Существенную информацию несут сейсмические скорости в консолидированной коре, их величины свидетельствуют о преимущественно базитовом составе субстрата, подстилающего осадочный комплекс. Однако, как отмечают авторы, ее мощность превышает мощность нормальной океанической коры. В процессе поисков ответа на возникшую неопределенность авторы исследовали отношение продольных и поперечных волн V_p/V_s в каждом из выделенных слоев в коре. По величине этих отношений сделаны выводы о том, что по составу верхний и средний слои твердой коры действительно отвечают базитам. Отношение V_p/V_s для нижнего слоя оказалось меньше, чем это характерно для базитов, в силу чего авторы сделали предположение, что нижний слой представляет собой мантийный субстрат, контаминированный остатками первичной континентальной коры.

Таким образом, по сейсмическим данным, в разрезе коры Цусимской котловины под увеличенным слоем осадочных отложений залегает мощный базитовый субстрат консолидированной коры, в основании которого предполагается “смесь” мантийного вещества с остатками первичной континентальной коры. Приведенные характеристики не позволяют отнести кору Цусимской котловины к нормальной океанической. Тем не менее, на наш взгляд, по приведенным сейсмическим данным, как и по данным гравиметрии, ее можно отнести к “почти океанической”, или “недоразвитой океанической” коре. На рис. 7 такой тип коры обозначен условно субокеаническим. Остальные впадины характеризуются меньшей сте-

пению переработки первичной континентальной коры и отражают разную степень ее деструкции. Это относится к впадине Ямато, участку между возвышенностями Ямато и Восточно-Корейской, а также трогу Гензан, расположенному между западным склоном Восточно-Корейской возвышенности и Корейским полуостровом.

ВЫВОДЫ

По совокупности гравиметрических, альтиметрических и сейсмических данных рассчитана мощность земной коры Японского моря. На этой основе выполнено районирование указанного бассейна по типам земной коры. Уточнен район распространения океанической коры и контуры участков с континентальной корой различной степени деструкции.

Показано, что определение мощности земной коры по данным спутниковой альтиметрии достаточно хорошо совпадает со значениями этого параметра, полученными по данным набортных наблюдений, что дает возможность рассчитывать глубину залегания границы Мохо на акваториях, где отсутствует морская гравиметрическая съемка и (или) данные сейсмического зондирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аносов Г.И., Сок Б.Ч., В.В. Аргентов и др. Глубинное строение земной коры впадины Цусима по данным преломленных волн (Японское море) // Тихоокеан. геология. 1996. Т. 15, № 5. С. 32–43.
2. Белоусов В.В., Павленкова Н.И. Типы земной коры // Геотектоника. 1985. № 1. С. 3–14.
3. Беляевский Н.А., Родников А.Г. Строение земной коры островных дуг и окраинных морей. Статья 2. Дальневосточные моря и вулканические пояса // Бюлл. МОИП. Отд. геол. 1971. Т. XXI, № 2. С. 48–64.
4. Геологическое строение западной части Японского моря и прилегающей суши / Отв. ред. Е. Н. Леликов. Владивосток: Дальнаука, 1993. 210 с.
5. Карнаух В.Н., Карп Б.Я. Акустический фундамент и осадочный слой дна Японского моря / А. М. Алексеев (гл. ред.) // Геология и полезные ископаемые шельфов России. М.: ГЕОС, 2002. С. 355–359.
6. Карп Б.Я., Хирата Н. и др. Советско-Японский сейсмический эксперимент в Японском море. Предварительные результаты // Тихоокеан. геология. 1992. Т. 16, № 5. С. 138–147.
7. Карп Б.Я., Прокудин В.Г., Медведев С.Н. и др. Строение земной коры по сейсмическим данным // Дальневосточные моря России. Т. 3. Геологические и геофизические исследования. М.: Наука, 2007. С. 26–47.
8. Кулинич Р.Г., Заболотников А.А., Марков Ю.Д. и др. Кайнозойская эволюция земной коры и тектогенез Юго-Восточной Азии. М.: Наука, 1989. 256 с.
9. Строев П.А., Павлов Ю.А., Ковылин В.М. О мощности земной коры в Японском море по сейсмическим и гравитационным данным // Труды СахКНИИ. 1975. Вып. 30. С. 162–168.
10. Строев П.А. Аномалии Буге и мощность земной коры в Япономорской переходной зоне // Геодинамические исследования. М.: Наука, 1977. 147 с.
11. Су Дацюань. Интерпретация данных измерений силы тяжести в средней и северной части Южно-Китайского моря // Oil. Geophys. Prosp. 1982. N 4. P. 45–56. (Пер. с кит.)
12. Туезов И.К. Геофизические исследования Дальневосточного сектора Тихоокеанского кольца. Геофизическое строение земной коры в зоне перехода от Азиатского континента к Тихому океану. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1969. С. 16–32. (Тр. СахКНИИ. Вып. 20).
13. Centenary Edition of the GEBCO Digital Atlas / Oceanographic Commission and the International Hydrographic Organization as part of the General Bathymetric Chart of the Oceans; British Oceanographic Data Centre. – CD-ROM. Liverpool: IOC, ИНО, BODC. 2003. <http://www.gebco.net/>
14. Hirata N., Tokuyama H., Chung T.W. An anomalously thick layering of the crust of the Yamato basin, southwestern Japan Sea: the final stage of back-arc spreading // Tectonophysics. 1989. N 165. P. 303–314.
15. Hirata N., Karp B.Ya., Yamaguchi T. et al. Oceanic crust in the Japan Sea by the 1990 Japan – USSR expedition // Geophys. Res. Lett. 1992. V. 19, N 20. P. 2027–2030.
16. Kurashimo E., Shinohara M., Suyehiro K. et al. Seismic evidence for stretched continental crust in the Japan Sea // Geophys. Res. Lett. 1996. V. 23. P. 3067–3070.
17. Nishizawa A., Asada A. Deep crustal structure of Akita, eastern margin of the Japan Sea, deduced from ocean bottom seismographic measurements // Tectonophysics. 1999. V. 306. P. 199–216.
18. Sandwell, D.T., Smith W.H.F. Marine gravity from GEOSAT and ERS 1 satellite altimetry // J. Geophys. Res. 1997. V. 102, N B5. P. 10039–10054.
19. Sato T., Shinohara M., Suyehiro K. et al. Seismic velocity structure of Kita-Yamato trough, Japan Sea, revealed by ocean bottom seismometer and airgun survey // Zisin. 2001. V. 53, N 2. P. 337–355 (in Japanese with English abstr.).
20. Sato T., Shinohara M., Karp B.Ya. et al. P-wave velocity structure in the northern part of the central Japan Basin, Japan Sea, with ocean bottom seismometers and airguns // Earth Planets Space. 2004. V. 56, N 5. P. 501–510.
21. Sato T., Shinohara M., Hinoe R. et al. P-wave velocity structure of the margin of the southeastern Tsushima Basin in the Japan Sea using ocean bottom seismometers and airguns // Tectonophysics. 2006. V. 412, Is. 3–4. P. 159–171.
22. Tamaki K. Geological structure of the Japan Sea and its tectonic implications // Bull. of the Geol. Surv. of Japan, 1988. V. 39, N 5. P. 269–365.
23. Tamaki K., Suyehiro K., Allan J. et al. Tectonic synthesis and implications of Japan Sea ODP drilling / Eds. K. Tamaki et al. // Proc. ODP. Sci. Results. 1992. V. 127/128. Pt. 2. College Station, TX (Ocean Drilling Program), P. 1333–1348.
24. Yale M.M., Sandwell D.T., Herring A.T. What are the limitations of satellite altimetry? // The Leading Edge, 1998. P. 73–76.

Рекомендована к печати Т.К. Злобиным