ТИХООКЕАНСКАЯ ГЕОЛОГИЯ, 2007, том 26, №3, с. 46–55

УДК 551.24:550.344.094.5:550.344.63

ОЧАГИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ И ГЛУБИННОЕ СТРОЕНИЕ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ ПО ПРОФИЛЮ ЮЖНЫЙ САХАЛИН–ОХОТСКОЕ МОРЕ–КАМЧАТКА

Т.К. Злобин, Д.А. Сафонов, Л.М. Злобина

Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск

Поступила в редакцию 25 июня 2006 г.

Представление о том, что Курило-Камчаткая сейсмофокальная зона является единой плитой шириной около 90 км, погружающейся до глубины 700 км, под углом 40–45°, является первоначальным и общим. Оно отражает, прежде всего, физические различия (скорости упругих волн, плотность, температуру и т.д.) между сейсмофокальной зоной и окружающей ее мантией. Детальные исследования показывают, что сама сейсмофокальная зона также неоднородна. Гипоцентры землетрясений концентрируются и группируются внутри этой зоны по-разному. В ней могут быть выделены сейсмогенные и асейсмичные слои, а также субвертикальные зоны. Последние находят отражение в структуре и разломах земной коры и верхней мантии.

Ключевые слова: **сейсмофокальная зона, земная кора, верхняя мантия, землетрясения, Охотское море.**

ВВЕДЕНИЕ

Для решения фундаментальных вопросов геотектоники и геодинамики большое значение имеют данные о глубинном строении земной коры и верхней мантии, а также об очагах землетрясений. Особый интерес представляет их совместное рассмотрение и сопоставление в зоне перехода от Евразиатского континента к Тихому океану. Здесь, как полагают многие [19, 20, 38], под континент погружается Тихоокеанская плита, т.е. имеет место субдукция. С ней связаны ключевые вопросы тектоники и динамики окраинных морей, островных дуг, глубоководных желобов.

Строение земной коры Охотского моря и Курильской островной дуги изучалось нами в течение многих лет [9, 11, 15 и др.]. Известны работы, посвященные исследованиям осадочного чехла [10, 13, 32, 39] земной коры [10, 13, 14, 18, 23–28 и др.] и мантии [6–7, 12, 16, 17, 29–31]. В настоящей работе мы рассмотрели совместно строение земной коры и распределение землетрясений по профилю от западного борта Татарского пролива через Южный Сахалин и Охотское море до Южной Камчатки. При этом профиль проходит вдоль Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны в области ее падения под Охотское море и материк, где она представлена глубокими землетрясениями.

Для освещения глубинного строения земной коры нами построен сводный разрез, составленный на основе материалов ГСЗ (профили 1-М, 6-М, 14-М), МОВ ОГТ (профиль 1611) и МОВЗ (профиль 4) [15].

На основе каталога NEIC была построена карта сейсмичности Охотоморского региона (рис. 1), а затем в полосе шириной по 100 км в обе стороны от профиля был построен глубинный разрез гипоцентров землетрясений. Это позволило совместно рассмотреть особенности глубинной структуры земной коры и положения очагов землетрясений в земной коре и верхней мантии. Кроме того, были привлечены данные сейсмотомографии [34, 40]. Рассмотрению этих результатов и посвящена настоящая статья.

СТРУКТУРЫ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ

Для освещения строения верхней части земной коры Охотского моря была построена структурная схема акустического фундамента осадочного чехла всего Охотского моря, а также разрезы глубинных слоев земной коры Охотской литосферной плиты, включая Курильскую островодужную систему [10, 13–15]. При этом были выделены основные структуры чехла и его фундамента, а также тектонические нарушения и некоторые разломы в осадках чехла. В дальнейшем Л.М. Злобиной была построена уточненная структурная карта поверхности акустическо-

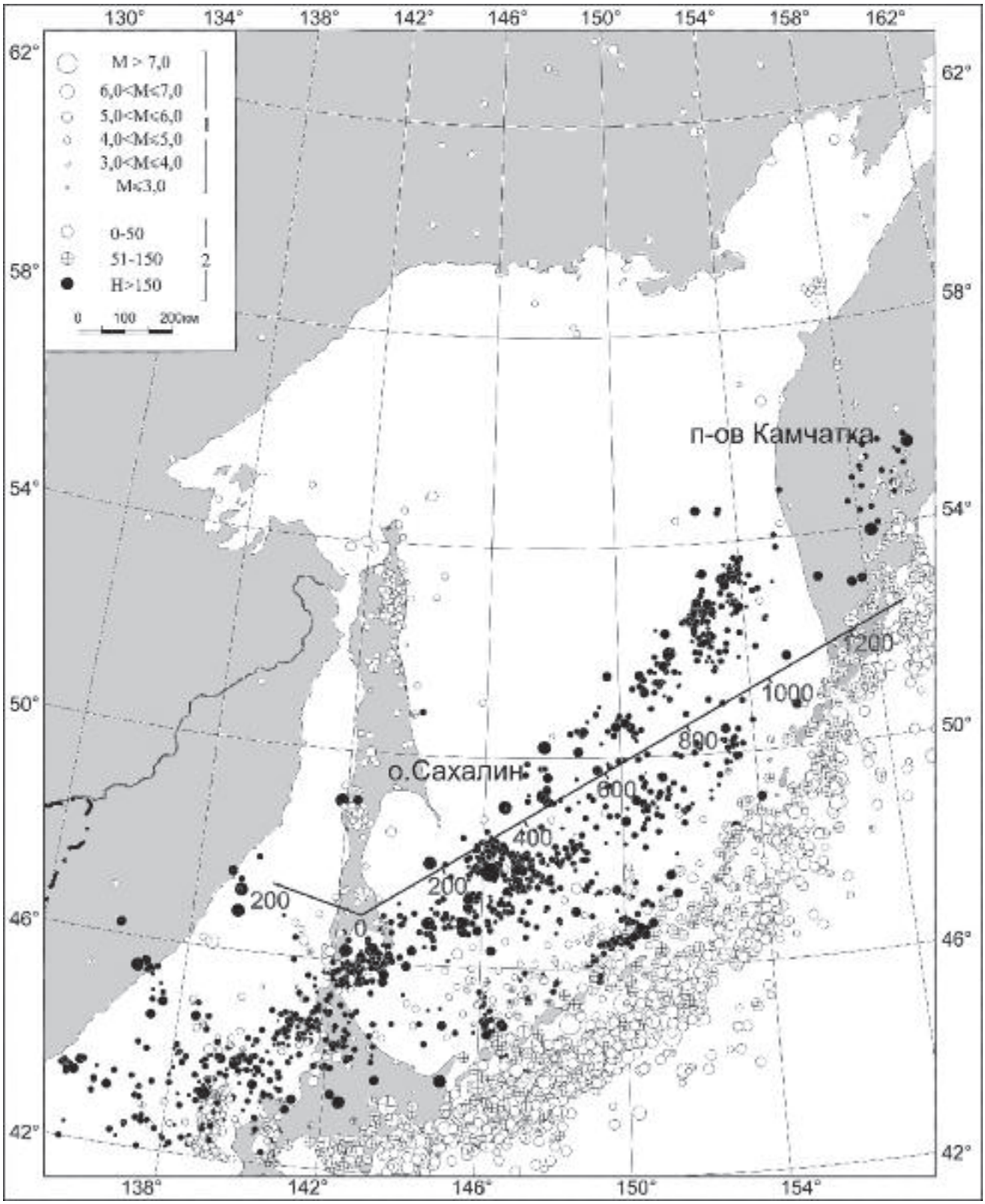

Рис. 1. Сейсмичность Охотоморского региона.

Магнитуды (1) и глубины очагов землетрясений (2). Сплошной линией показано положение разреза и пикеты профиля. Для упрощения карты, северо-восточнее Курило-Камчатской островной дуги показаны эпицентры только с магнитудой M≥ 4.

го фундамента и мощности осадочного чехла [32]. На основании этих карт была составлена структурно-тектоническая карта, отражающая структурные элементы осадочного чехла Охотского моря и островного склона Курильского желоба и позволившая выполнить тектоническое районирование осадочного чехла указанных территорий по структурным признакам. При этом были определены шесть систем структурных элементов, в которых выделено 139 зон прогибов и поднятий и других элементов, построена генерализованная схема осадочного чехла Охотского моря, использованная в настоящей работе.

На основе вышеназванных данных было рассмотрено строение верхней части земной коры по профилю от материка до Южной Камчатки.

При построениии разреза земной коры по структурным и геоморфологическим признакам мы выделяли 5 блоков (рис.2) [15]. Блок I включает Татарский пролив и о-в Сахалин. Блок II соответствует заливу Терпения и юго-восточному шельфу Сахалина, где профиль пересекает Стародубский прогиб и Владимировское поднятие (район ПК 100, рис. 1, 2). Далее профиль проложен по южному борту небольшого поднятия Терпения (ПК 50–220), входящего в более крупную структуру второго порядка – прогиб Терпения, и затем по юго-западному склону крупного поднятия АН СССР. Центральная, наиболее приподнятая и хорошо выраженная часть его соответствует блоку III. Сброшенная по разлому в районе ПК 800 и погружающаяся далее на северо-восток часть этого поднятия вместе с крупным Большерецким поднятием и сопряженным одноименным прогибом были отнесены к блоку IV. Последний блок V включает южную Камчатку [1]. Практически все границы блоков соответствуют глубинным разломам, установленным по сейсмическим данным.

Отметим особенности дизъюнктивной тектоники и структурных границ по профилю. В первом и втором блоках существенно меняются глубины залегания сейсмических границ, которые смещены по разломам. Так, поверхность консолидированной коры (породы мезозой-палеозойского фундамента), залегая на юге под западным Сахалином на глубинах до 6–7 км, в восточном Сахалине (в Сусунайском хребте) смещена вверх и даже выходит на поверхность. Также смещается и подошва земной коры от 28–34 км под Сахалином [17, 23, 24, 28] до 18 км под акваторией Охотского моря. При этом глубинные границы деформированы и нарушены дизъюнктивными нарушениями. Геолого-геофизические работы, выполненные многочисленными исследователями, в том числе и нами, показывают, что в земной коре первого блока, включающем о-в Сахалин и Татарский пролив, имеются многочисленные тектонические нарушения, крупные сквозькоровые разломы. Основными из них являются Западно-Сахалинский, Центрально-Сахалинский [18, 33, 37].

На границе блоков I и II расположена разломная зона, включающая глубинный Хоккайдо – Сахалинский разлом. Ширина зоны по профилю в земной коре около 20 км.

В блоках II и III выделяется ряд разломов, установленных по данным МОВ ОГТ в осадочном чехле и в его фундаменте, а также прослеженных на всю мощность земной коры по данным ГСЗ. Наиболее крупные из них устанавливаются на ПК 300, 400 и 800.

В блоке IV также выделяется ряд разноглубинных тектонических нарушений. Ограничивают блок глубинные сквозькоровые разломы.

Отличием блока V является существенно возросшая мощность земной коры (до 44 км), деформации ее слоев и сопровождающие их тектонические нарушения, описанные нами в работе [15].

Строение более глубоких горизонтов земной коры и верхней мантии в Охотоморском регионе было установлено по данным ГСЗ [23, 26–28], а в пределах Курильской островной системы – по сейсмическим исследованиям МОВЗ и ГСЗ [9–11, 13–15, 17]. Этими работами в земной коре и верхней мантии нами была установлена слоисто-блоковая структура земной коры и расслоенность литосферы до глубин около 140 км. Показано, что морфология границ сложная, залегание зачастую отлично от горизонтального. Наблюдается деформация сейсмических границ обмена. Дислокации связаны здесь с тангенциальным сжатием северо-западного направления и явлениями скучивания коры в островодужном блоке. В литосфере выделен ряд сейсмических границ, в том числе в земной коре – от 3 до 5 (K_0, K_{1-4}) и 4 границы (M_0, M_{1-4}) в верхней мантии [9]. На основе геологической интерпретации полученных сейсмических данных была составлена сейсмогеологическая модель строения земной коры, согласно которой выделены слои: вулканогенно-осадочный, гранито-гнейсовый, гранулито-гнейсовый и гранулито-базитовый. Средние мощности этих слоев составили: 2,5–3,0; 3–5; 4–6 и 18–21 км, соответственно, а средние значения продольных сейсмических волн в них: 4,1; 6,0; 6,5 и 7,0 км/с. Под границей M_0 в верхней мантии выделен подкоровый слой (M_0–M_1) мощностью от 4–5 (под Малой Курильской грядой) до 10–12 км (под Большой). Он интерпретируется нами (в соответствии с моделью В.В. Белоусова) как

Рис. 2. Глубинный разрез земной коры вдоль профиля Южный Сахалин–Охотское море–Камчатка.

1–3 – пикеты : профили ГСЗ 19 через Сахалин (1), МОВ ОГТ 1611 через Охотское море (2) и профиля 4 через Камчатку (3); 4 – пересечения разреза с профилями ГСЗ и их номер; 5 – водный слой; 6 – осадочный (осадочно-вулканогенный) слой; 7, 8 – гранито-метаморфический (верхний и средний) (7) и гранулито-базитовый (“базальтовый”, нижний) (8) слои консолидированной земной коры; 9–13 – сейсмические границы: в осадочном чехле по данным МОВ ОГТ (9); в земной коре по данным ГСЗ, МОВЗ (10); в том числе связанные с кровлей консолидированной коры (11); разделом Конрада между нижним (гранулито-базитовым) и вышележащим слоем (12), а также подошвой земной коры (13); 14, 15 – средние (14) и граничные (15) сейсмические скорости, км/с; 16 – разломы; 17 – положение и номера выделенных блоков земной коры.

слой, представленный преимущественно альпинотипными гипербазитами, а нижний M_1–M_3 – шпинелевыми гипербазитами. Ниже раздела M_3, в соответствии с вышеназванной схемой, залегают гранатовые гипербазиты с включением жидкого базальта, связываемые с астеносферным слоем.

Строение верхней мантии в рассматриваемой зоне перехода от Тихого океана к Евразиатскому континенту изучалось и сейсмологами [6, 7, 16, 17, 29, 31,]. Главной особенностью верхней мантии и земной коры является наличие сейсмофокальной зоны, с которой связывается субдукция Тихоокеанской плиты под континентальную плиту.

Сейсмологическими методами в верхней мантии были изучены скорости сейсмических волн [6, 31] и расслоенность (с выделением слоев с разными физическими свойствами). Р.З.Таракановым была построена полиастеносферная модель строения верхней мантии, отражающая изменение прочностных свойств среды с глубиной [29–31]. Им, а также другими исследователями составлены вертикальные разрезы Курило-Камчатской сейсмофокальной зоны [30]. При этом в верхней мантии наблюдается вариации сейсмической активности. Наибольшая концентрация землетрясений имеет место в верхней (максимальная) и нижней частях. Между ними на глубинах 200–300 км находится асейсмичный слой и отмечается излом фокальной поверхности [29].

Кроме того, Т.К. Злобиным было установлено в литосфере наличие сейсмофокальных зон, встречных основной Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне [12].

ГИПОЦЕНТРЫ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

На основе анализа данных одного из наиболее достоверных и общепризнанного каталога NEIC за многие годы наблюдений (с 1987 по 2002 г) проведено детальное рассмотрение распределения гипоцентров землетрясений (рис. 3). Оно выполнено через Курило-Камчатскую сейсмофокальную зону (СФЗ) по тому же профилю (рис. 2). В северо-восточной части он расположен в области выхода СФЗ к земной поверхности, в средней части пересекает ее в основании, а в юго-западной части находится в области “выклинивания”.

Таким образом, построив разрез земной коры от Сахалина до Камчатки (рис. 2) и глубинный разрез гипоцентров землетрясений в верхней мантии вдоль этого же профиля (рис. 3), стало возможным рассмотреть эти глубинные разрезы с единых позиций. Для анализа этого глубинного разреза мы проинтерпретировали его, проведя видимые границы области концентрации гипоцентров землетрясений. Это позволило, прежде всего, оценить сейсмичность под такими крупными структурами, как, например, Поднятие АН СССР (в Охотском своде), складчатыми структурами Сахалина и Камчатки, а также под структурами второго порядка. Совместное рассмотрение положения гипоцентров землетрясений и структур земной коры и верхней мантии позволяет оценить внутренние особенности строения сейсмофокальной зоны. При этом устанавливаются как субгоризонтальные слои, так и субвертикальные зоны концентрации землетрясений, которые могут быть выделены при дальнейшем рассмотрении внутри этих слоев, а также разломные зоны между ними.

Слоистость сейсмофокальной зоны

По разной степени концентрации гипоцентров землетрясений в сейсмофокальной зоне можно выделить сейсмичные (сейсмоактивные, сейсмогенные) и асейсмичные слои. В северо-восточной части СФЗ их шесть, а в относительно тонкой юго-западной части зоны – четыре (рис. 3).

Первый приповерхностный слой глубиной до 40 км связан с коровой сейсмичностью. Он рассмотрен нами в работе [18]. Выявленные в ней сгущения гипоцентров и очаги с наибольшей магнитудой (M = 4–6) приурочены к глубинным разломам Сахалина (Центрально-Сахалинскому, Хоккайдо-Сахалинскому, Западно-Сахалинскому и др.), а также к центральной части Охотского моря и Южной Камчатке.

Второй слой асейсмичный. Под ним расположены гипоцентры, относимые к Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне. На разрезе она представлена в юго-западной половине профиля слоем 3, а в северо-восточной – двумя слоями (3 и 5), разделенными асейсмичным слоем 4. При этом выявляется резкое различие между юго-западной и северо-восточной частями СФЗ. В первой части она представлена одним относительно тонким слоем толщиной от 80 до 100 км, а северо-восточная – двумя слоями общей мощностью до 400 км. Разделяющий их слой 4 имеет мощность до 100 км в центральной части профиля под восточной частью Охотского моря, а к Камчатке этот слой выклинивается. Ниже по разрезу расположено асейсмичное поле 6.

В северо-восточной половине профиля мощность двух сейсмоактивных слоев (3 и 5) составляет, соответственно, 180–200 и 240–320 км, а их суммарная величина – до 500 км. Эти слои могут быть представлены единым телом, падающим от глубин 0–350 км под Камчаткой до 650 км под центральной частью Охотского моря.

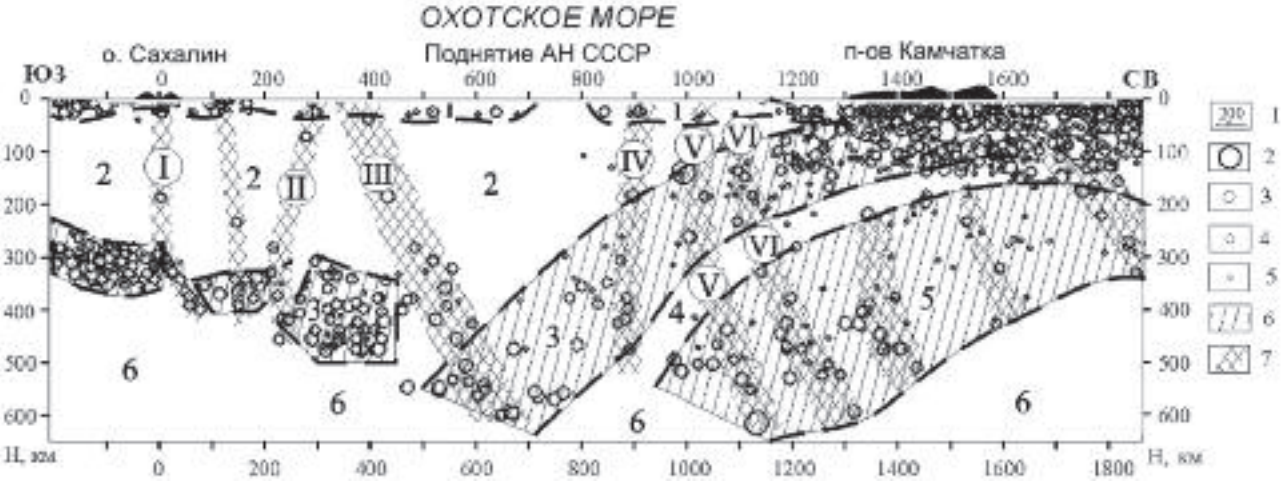

Рис. 3. Глубинный разрез, показывающий гипоцентры землетрясений в земной коре и верхней мантии, по профилю Южный Сахалин–Охотское море–Южная Камчатка.

1 – пикеты и их номера; 2–5 – магнитуда землетрясений: M ≥ 8,0–6,1 (2), 6,0–4,1 (3), 4,0–2,1 (4), 2 и менее (5); 6, 7 – области повышенной концентрации гипоцентров землетрясений, в слоях (6) и субвертикальных зонах (7).

Арабские цифры – номера слоев разной сейсмичности на разрезе, римские цифры – номера субвертикальных (разломных) зон концентрации землетрясений. Пунктиром показаны предполагаемые линии, ограничивающие зоны и слои концентрации землетрясений.

Рассмотрение особенностей сейсмоактивных слоев показывает, что толщина слоя 3 юго-западной части профиля, до ПК 450, увеличивается с юго-запада на северо-восток от 100 км до 200 км. Слой имеет хорошо обозначенные границы. В этой части профиля сейсмогенный слой 3 может быть представлен тремя блоками, разделенными субвертикальными зонами повышенной концентрации гипоцентров. Протяженность (по горизонтали) блоков составляет 120–160 км. Толщина первых двух – по 80 км, а третий блок трапециевидной формы резко отличается и имеет толщину около 180 км. В верхней части земной коры первого блока расположены структуры Татарского прогиба и Сахалина над двумя остальными – восточный шельф Сахалина и Анивский прогиб.

Северо-восточнее ПК450–600, суммарная мощность сейсмогенных слоев существенно увеличивается и достигает в центральной и северо-восточной частях профиля 300–650 км.

Субвертикальные зоны повышенной концентрации гипоцентров землетрясений

Помимо группирования гипоцентров землетрясений в субгоризонтальных слоях в СФЗ можно выделить субвертикальные зоны повышенной концентрации. Они установлены путем объединения гипоцентров землетрясений в области их повышенной концентрации, которые прослеживаются на общем поле среднего распределения гипоцентров землетрясений, или по их наличию на фоне отсутствия очагов и корреляции с вышеназванными зонами концентрации. Эти зоны разделяют слои на блоки и подобны глубинным разломам (рис. 3).

Самая значительная из них (зона III) находится в центральной части профиля, расположена в верхней части разреза в районе ПК 400–600. Она делит разрез на две части. Юго-западная половина профиля, включающая блоки земной коры I–II, существенно отличается от северо-восточной части, состоящей из блоков III–V (рис. 2).

На это же указывают и данные сейсмотомографии. Из рассмотрения результатов, приводимых в работе [34] в виде скоростных срезов при расчетах по блокам 6° × 6° в слоях 300–410 км, 410–520 км, 520–660 км и 660–830 км в Дальневосточном сегменте, ограниченном координатами 40°–80° с.ш. и 130°–210° в.д. [34, fig. 4,a], можно заключить следующее. На фоне мозаичной и ячеистой скоростной структуры в верхней мантии под Охотским морем, к востоку от Южного Сахалина, среди поля нормальных значений скорости расположена аномальная, скоростная зона. Она охватывает именно юго-западную, до ПК 400–600, (рис. 3) часть разреза, разделяя его, таким образом, на две части.

Кроме этой основной зоны концентрации землетрясений выделяется еще ряд субвертикальных и наклонных зон мощностью около 30–60 км. Их уста-

новлено более шести. Первые три зоны (I–III) выделяются в юго-западной части разреза (о-в Сахалин и прилегающие акватории Охотского моря), положение которых соответствует областям в районе ПК 0, 130 и 220–300. Эти относительно небольшие субвертикальные (“разломные”) зоны делят разрез на вышеописанные блоки в слое 3.

В северо-восточной части разреза выделяются еще 3–6 аналогичных разломных зон. Из них нами обозначены лишь первые три зоны (IV–VI), так как северо-восточнее число гипоцентров резко возрастает и они сливаются на общем поле. Гипоцентры, расположенные на больших глубинах в верхней мантии, во всех выделяемых зонах находят соответствие гипоцентрам, расположенным на соответствующих пикетах в земной коре. При этом субвертикальные зоны прослеживаются во всех сейсмогенных слоях.

Такие субвертикальные неоднородности в верхней мантии можно выделить и по данным сейсмотомографии. Как известно, метод томографической инверсии, дающий хорошее представление о скоростной структуре верхней мантии и больших глубинах Земли, позволяет выделять области повышенной и пониженной скорости. На типичном вертикальном скоростном разрезе для S-волн, построенном методом трехмерной сейсмической томографии поперек Японской сейсмофокальной зоны (т.е. расположенном близко к рассмотренному нами региону), хорошо видны скоростные особенности строения мантии [40]. При этом на скоростном разрезе, представленном в виде ячеек верхней мантии размером 50 × 50 км с разными значениями скорости, здесь также могут быть выделены субвертикальные неоднородности, аналогичные описанным нами.

Сопоставление вертикальных зон концентрации гипоцентров в верхней мантии с разломами в земной коре

Выделенные вертикальные зоны концентрации гипоцентров землетрясений (I – VI, рис. 3) были сопоставлены с положением глубинных сквозькоровых разломов, выявленных в земной коре геолого-геофизическими, в основном сейсмическими, методами. Они сопоставлены с разломами на схеме фундамента осадочных отложений [13], тектонической схеме Охотоморского региона [27] и глубинном разрезе земной коры вдоль профиля Южный Сахалин–Охотское море–Камчатка (рис. 2).

Рассмотрение показало следующее. Практически все глубинные разломы, установленные ранее геолого-геофизическими методами в земной коре, находят свое отражение в особенностях сейсмичности верхней мантии, а именно – в соответствии положения субвертикальных зон концентрации гипоцентров.

Так, например, четкая зона повышенной концентрации гипоцентров I (рис. 3) в районе ПК 0, разделяющая блоки в слоях 1, 2 и 3, соответствует положению, установленному в земной коре, крупному Хоккайдо-Сахалинскому разлому. Таким образом, этот разлом находит продолжение в верхней мантии и может коррелироваться с четко выраженной здесь зоной шириной 20–30 км, прослеживающейся в мантии (в слое СФЗ) на глубинах до 300–350 км.

Заметим, что мощность сейсмогенного слоя 3 (слоя гипоцентров в СФЗ) по обе стороны этой разломной зоны разная. В юго-западном, приподнятом “крыле”, западнее ПК 0 мощность слоя составляет 100 км, а в северо-восточном она составляет от 30 до 70 км на ПК 50–250. Причем далее к востоку (ПК 250–450) после разломнной зоны II она увеличивается до 200 км.

Второй небольшой разлом в земной коре, установленный по сейсмическим данным в районе ПК 120–150 (рис. 2) под заливом Терпения, находит отражение, в основном, в коровых землетрясениях. Этот разлом также находит свое отражение в сейсмогенном слое 3. Здесь он выражается в виде вертикальной зоны концентрации гипоцентров глубинных землетрясений, очаги которых расположены под разломом (рис. 3).

Субвертикальная зона концентрации землетрясений II, расположенная восточнее по профилю, соответствует в земной коре глубинному разлому в районе ПК 300 (рис.2), который отделяет структуры прогиба залива Терпения, поднятия Полевого и сопряженного с ним прогиба, от деформированного юго-западного борта поднятия АН СССР.

Самое существенное проявление в положении гипоцентров землетрясений находит глубинная зона III (рис. 3) в районе ПК 400. Здесь в земной коре по данным ГСЗ выделялся глубинный разлом на ПК 380–400 (рис. 2), ограничивающий поднятие Академии наук СССР. Этот разлом хорошо выражен на тектонической схеме Охотоморского региона [27] в виде регионального разлома юго-восточного направления протяженностью более 300 км, секущего все другие разломы. Соответствующая этому разлому зона концентрации землетрясений с очагами магнитуд до 4–6 в верхней мантии коррелируется с вышеназванным разломом и является самой глубинной и мощной зоной концентрации землетрясений, описанной нами выше. Она разделяет разрез на две части и является границей блоков литосферы. При этом в соответствии с разрезом земной коры в юго-запад-

ную половину входит блок I и II, а в северо-восточную – блоки III – V (рис. 3). Отметим, что еще ранее [15], при анализе строения земной коры мы также выделяли здесь границу между блоками и зону неоднородности.

Эта мощная зона концентрации землетрясений III шириной около 90–100 км и глубиной 600 км имеет наклон на северо-восток (рис. 3). В результате этого зона III, выделяемая внизу разреза в районе ПК 600–700, в верхней части разреза, в земной коре прослеживается в районе ПК 350–440, что соответствует положению тектонического разлома, установленного по сейсмическим данным на ПК 400 (рис. 2). Таким образом, вышеназванный разлом, установленный в земной коре, также находит свое отражение в зоне концентрации гипоцентров землетрясений в верхней мантии.

Следующая зона концентрации гипоцентров землетрясений IV (рис. 3), расположенная на ПК 850–940, может быть связана с разломной зоной в земной коре в районе ПК 800. Здесь в восточном окончании поднятия Академии наук СССР начинается сопряженная система Большерецкого прогиба и одноименного поднятия, которые разделены глубинным разломом. Его наличие, возможно, и находит свое отражение в верхней мантии, видимое на разрезах (рис. 2, 3).

Аналогично находят свое отражение и другие названные разломы земной коры, причем как в коровых землетрясениях, так и в нижерасположенных субвертикальных зонах концентрации гипоцентров землетрясений верхней мантии. Следовательно, выделенные раннее нами [15] блоки земной коры и разломы находят отражение в более глубоких слоях оболочки Земли, то есть в верхней мантии. При этом границы выделенных блоков и приведенные разломы в земной коре соответствуют зонам концентрации гипоцентров землетрясений (рис. 3).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

Таким образом, рассматривая результаты выполненных исследований по изучению глубинного строения земной коры и верхней мантии региона, а также распределение гипоцентров землетрясений, можно заключить следующее.

1. В земной коре выделены крупные блоки и разломные зоны. Полученная нами модель земной коры многослойная. В ней выделяется до 3–5 сейсмических границ, которые согласно глубинным разрезам являются как субгоризонтальными, так и наклонными, со сложной морфологией. Дизъюнктивные нарушения представлены мегасдвигами, региональными коровыми и сквозькоровыми разломами. Они имеют разное направление, в том числе ортогональное к простиранию сейсмофокальной зоны, и находят в ней отражение. Некоторые глубинные структуры земной коры (разломы) прослеживаются в более глубоких слоях верхней оболочки, в литосфере верхней мантии. Строение верхней мантии также слоисто-блоковое.

2. Согласно существующим представлениям тектоники плит [20 и др.], сейсмофокальная зона связана с субдукцией Тихоокеанской литосферной плиты и изображалась (обычно – в поперечном сечении) в упрощенном виде неким монолитным пласто-плитообразным телом шириной около 80–100 км. При этом приводились оси сжатия и растяжения механизмов очагов землетрясений, направленные по падению субдуцирующей плиты [19, 35, 36, 38].

Однако, известны принципиально важные результаты исследований механизмов очагов землетрясений в Тихоокеанском сейсмическом поясе, включающем Курило-Камчатскую сейсмофокальную зону, Л.М. Балакиной [2–5, 22], которые свидетельствуют, что направления осей сжатия и растяжения и, соответственно, подвижек здесь являются разными, а не только по падению сейсмофокальной зоны. При этом ею установлено, что большинство определений механизмов очагов землетрясений вычислены для глубин $h < 100$ км, где напряжения сжатия ориентированы преимущественно под малыми углами к горизонту. Промежуточные землетрясения ($h = 100–300$км) указывают, что “ориентация напряжений в их очагах оказывается различной в разных районах”, и в ряде районов Тихоокеанского сейсмического пояса сохраняется примерно та же ориентация напряжений, что и в верхних 100 км [22, с. 366], то есть далеко не только вдоль падения сейсмофокальных зон. И, наконец, говоря о глубоких очагах, отметим, что области очагов глубоких землетрясений во многих районах Тихоокеанского сейсмического пояса также не имеют единой, устойчивой картины ориентации напряжений и направления сжатия в очагах глубоких толчков в ряде случаев значительно отличаются от направления падения фокальных зон [22].

Исходя из вышесказанного, можно заключить, что существовавшее представление о сейсмофокальной зоне, как о едином теле, в котором сжатие и растяжение происходят по направлению его падения, можно считать лишь первым, общим представлением. Такое заключение согласуется с результатами изучения механизмов очагов Л.М. Балакиной, которая еще раннее писала, что “фокальные зоны Тихоокеанского кольца в свете новых сейсмологических данных уже

нельзя рассматривать в виде единых, крупных разломов, или плит, погружающихся под континент (островные дуги). Процесс генерации землетрясений в этих зонах представляется много сложнее" [22, с. 374].

Выполненный в настоящей работе анализ внутреннего строения СФЗ и связи его со структурами земной коры позволяет сделать вывод, что сейсмофокальная зона имеет более сложное строение.

3. На глубинном разрезе сейсмофокальной зоны видно, что ее внутреннее строение и распределение гипоцентров вдоль нее разнообразно. Вдоль сейсмофокальной зоны мощность Курило-Камчатской СФЗ меняется от нескольких десятков–ста километров до 500–600 км. В связи с этим, погружающаяся сейсмофокальная зона не является неким единым телом, как ее представляли ранее схематично, например, в работе [20], и форма СФЗ, видимо, намного сложнее. При детальном анализе положения гипоцентров землетрясений в их распределении можно выделить определенные сейсмогенные слои и субвертикальные зоны повышенной концентрации землетрясений. Если связывать СФЗ с субдукцией, то, как минимум, субдуцирующее тело нельзя считать простой и единой литосферной плитой параллелепипедальной формы.

4. На представленном варианте интерпретации распределения землетрясений по продольному разрезу СФЗ через Охотское море в зоне субдукции видно, что форма выделенных зон концентрации землетрясений различна. Она может связываться с областями разной конфигурации и, в том числе, может аппроксимироваться субвертикальными наклонными и вертикальными зонами. Причем эти зоны могут быть выделены не по простиранию СФЗ, а вкрест, т.е. являться секущими по отношению к ней. Кроме того, из рассмотрения тектонической схемы региона следует, что здесь в литосфере имеют место и разломы, направления которых являются секущими по отношению к СФЗ.

5. Выявлено соответствие разломов, установленных в земной коре по данным сейсмических исследований ГСЗ, МОВ ОГТ, МОВЗ, глубинным субвертикальным зонам повышенной концентрации гипоцентров землетрясений в земной коре и в верхней мантии. Таким образом, сейсмофокальная зона представляется неоднородной, разбитой близвертикальными и наклонными зонами, имеющими, возможно, связь с разломами в земной коре в литосфере.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Апрелков С.Е., Ольшанская О.Н. Тектоническое районирование центральной и южной Камчатки по геологическим и геофизическим данным // Тихоокеан. геология. 1989. № 1. С. 53–66.
2. Балакина Л.М. Ориентация разрывов и подвижек в очагах сильных землетрясений северной и северо-западной частей Тихого океана // Физика Земли. 1979. № 4. С. 43–52.
3. Балакина Л.М. Ориентация напряжений в очагах землетрясений Тихоокеанского сейсмического пояса и гипотеза тектоники плит // Физика Земли. 1979. № 5. С. 16–30.
4. Балакина Л.М. Особенности механизма очагов глубоких землетрясений Японского и Охотского морей // Физика Земли. 1979. № 9. С. 3–21.
5. Балакина Л.М. Механизм очагов промежуточных землетрясений Курило-Камчатской фокальной зоны // Физика земли. 1981. № 8. С. 3–24.
6. Болдырев С. А., Кац С.А. Трехмерная скоростная модель верхней мантии переходной зоны от Тихого океана к Азиатскому континенту // Вулканология и сейсмология. 1982. № 2. С. 80–96.
7. Болдырев С.А., Пономарев С.Ф. Построение скоростной модели Охотоморского блока мантии // Физика сейсмических волн и внутреннего строения Земли. М., 1983. С. 139–151.
8. Геология и нефтегазоносность Охотско-Шантарского бассейна / Варнавский В.Г., Жаров А.Э., Кириллова Г.Л. и др. Владивосток: ДВО РАН, 2002. 148 с.
9. Злобин Т.К. Строение земной коры и верхней мантии Курильской островной дуги (по сейсмическим данным). Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1987. 150 с.
10. Злобин Т.К., Злобина Л.М. Строение земной коры Курильской островной системы // Тихоокеан. геология. 1991. № 6. С. 24–35.
11. Злобин Т.К., Злобина Л.М. Модель эволюции системы окраинное море – островная дуга – глубоководный желоб // Закономерности строения и эволюции геосфер: Тез. докл. IV междунар. науч. симпоз. (23-28 сент. 1998) Хабаровск, 1998. С. 314–316.
12. Злобин Т.К., Бобков А.В. Встречные сейсмофокальные зоны Охотской литосферной плиты // Докл. РАН. 2001. Т. 381, № 5. С. 677–680.
13. Злобин Т.К., Злобина Л.М. Строение осадочного чехла и глубинных слоев земной коры Охотской литосферной плиты // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии: III Косыгинские чтения, 23–25 января 2001, г. Хабаровск / Под ред. Н.П. Романовского. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2001. С. 73–88.
14. Злобин Т.К., Злобина Л.М. Изучение глубинного строения земной коры Охотской литосферной плиты // Тезисы докладов XXXII Тектонического совещания "Тектоника неогея: общие и региональные аспекты" 30 янв. – 2 февр. 2001 г. М., 2001. С. 245–248.
15. Злобин Т.К. Строение земной коры Охотского моря и нефтегазоносность ее в северо-восточной части (по сейсмическим данным). Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2002. 98 с.
16. Злобин Т.К. Модель строения нижележащей мантии под южной частью Охотского моря: связь ее с мантийным диапиром и мантийным плюмом // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии: IV Косыгинские чтения, 21–23 января 2001, г. Хабаровск / Под ред. Н.П. Романовского. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2003. С. 204–218.
17. Злобин Т.К., Гуреев Р.Г. Строение литосферы центральной части Южного Сахалина по данным МОВЗ // Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии: IV Ко-

сыгинские чтения, 21–23 января 2001, г.Хабаровск / Под ред. Н.П. Романовского. Хабаровск: ИТиГ ДВО РАН, 2003. С.219–237.
18. Злобин Т.К., Бобков А.В. Современная сейсмичность и разломная тектоника юга Сахалина. Южно-Сахалинск: Изд-во СахГУ, 2003. 124 с.
19. Короновский Н.В., Ломизе М.Г. Концепция глубинных разломов и тектоника плит // Фундаментальные проблемы общей тектоники. М.: Науч. мир, 2001. С 344–373.
20. Новая глобальная тектоника (тектоника плит). М.: Мир., 1974. 471 с.
21. Объяснительная записка к тектонической карте Охотоморского региона. 1-2500000 / Отв. ред. Н.А. Богданов, В.Е. Хаин. М.: ИЛОВМ РАН, 2000. 193 с.
22. Океанология. Геофизика океана. М.: Наука, 1979. Т. 1. С. 357–374.
23. Строение земной коры в области перехода от Азиатского континента к Тихому океану. М.: Наука, 1964. 308 с.
24. Строение земной коры и верхней мантии в зоне перехода к Тихому океану. Новосибирск: Наука, 1976. 367 с.
25. Строение земной коры южной части Охотского моря по сейсмическим данным. М.: Наука, 1987. 87 с.
26. Строение и развитие земной коры на Советском Дальнем Востоке. М.: Наука, 1969. 162 с.
27. Структура и динамика литосферы и астеносферы Охотоморского региона // Харахинов В.В., Туезов И.К., Бабошина В.А. и др. М.: Национ. геофиз. комитет РАН, 1996. 337 с.
28. Суворов А.А. Глубинное строение земной коры Южно-Охотского сектора по сейсмическим данным. Новосибирск: Наука, 1975. 102 с.
29. Тараканов Р.З. Строение фокальной зоны Курило-Камчатской островной дуги // Земная кора островных дуг и дальневосточных морей. Верхняя мантия. М.: Наука, 1972. № 9. С. 215–234.
30. Тараканов Р.З., Ким Ч.У., Сухомлинова Р.И. Особенности строения фокальных зон Курило-Камчатского и Японского регионов // Сейсмичность и глубинное строение Сибири и Дальнего Востока. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 99–109.
31. Тараканов Р.З. Скоростные особенности строения верхней мантии области перехода от Азиатского континента к Тихому океану: Препринт. Южно-Сахалинск: ИМГиГ ДВО РАН. 1997. 53 с.
32. Тектоника и углеводородный потенциал Охотского моря / Веселов О.В., Ильев А.Я., Кононов В.Э. и др. Владивосток: ДВО РАН, 2004. 160 с.
33. Харахинов В.В., Гальцев-Безюк С.Д., Терещенко А.А. Разломы Сахалина // Тихоокеан. геология. 1964. № 2. С. 77–86.
34. Gorbatov A., Widiyantoro S., Fukao, Gordeev E. Signature of remnant slabs in the North Pacific from P-wave tomography // Geophys. J.Int.(2000) 142, 27–36.
35. Ichikawa M. Reanalyses of mechanism of earthquakes which occurrred in and near Japan, and statistical studies on the nodal plane solutions obtained, 1926–1968 // Geophys. Mag., 1971. 35, N. 3.
36. Isacks B., Molnar P. Distribution of stresses in the descending lithosphere from a global survey of focal-mechanism solutions of mantle earthquakes // Rev.Geophys.and Space Phys., 1971. 9, N. 1.
37. Rozhdestvenskiy V.S., Saprygin S.V. Structural Relationships between the Neogene and Quaternary Assemblages; Active Faults, and Seismicity in Southern Sakhalin // Geol. of Pac. Ocean. 2001. V.16, P. 1051–1070.
38. Stauder W. Mechanism and spatial distribution of Chilean earthquakes with relation to subduction of the oceanic plate // J. Geophys. Res. 1973. 78, N. 23.
39 Zhigulev V.V., Kononov V.E. Evaluation of the oil and gas presence in the Derygin basin (Okhotsk sea) from seismic data. Regularities of the structure and evolution of geospheres: Materials of VII Inter. Interdisciplin. Meet. Vladivostok, 20-24 September, 2005 // Vladivostok: FEB RAS, 2005. P. 280–284.
40. Yamanaka Y., Miyamake T., Hirahara K. Tree-dimensional S-wave velocity structure beneath the Japan Islands – Configuration of the subducting slab // Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo. 1992. V. 67. P. 265–302.

Рекомендована к печати Р.Г. Кулиничем

T.K. Zlobin, D.A. Safonov, L.M. Zlobina

Earthquake foci, and crustal and upper mantle deep structure along the South Sakhalin - Okhotsk Sea - Kamchatka profile

Earlier there was a general notion that the Kuril-Kamchatka seismic focal zone was a single plate of about 90 km wide and up to 700 km deep inclined at an angle of 40–45°. Such a notion reflects first of all physical differences (elastic wave velocities, density, temperature, etc.) between the seismic focal zone as a whole and the surrounding mantle, rather than the internal structure of the seismic focal zone. Detailed investigations show that the seismic focal zone determined as a combination of earthquake foci is heterogeneous. The earthquake hypocenters are differently concentrated and grouped inside this zone. Seismogenic and aseismic layers and also subvertical zones can be distinguished in it. The subvertical zones are reflected in the structure and faults of the Earth's crust and upper mantle.

Key words: **seismic focal zone, structure of the Earth's crust and upper mantle, earthquakes, Okhotsk Sea.**