

АНАЛИЗ ПОЛЯ ТЕКТОНИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПЕРЕД СИЛЬНЫМ ГЛУБОКОФОКУСНЫМ ОХОТОМОРСКИМ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЕМ 24.05.2013 Г.

А.Ю. Полец, Т.К. Злобин

¹Институт морской геологии и геофизики ДВО РАН, г. Южно-Сахалинск, polec84@mail.ru, t.zlobin@mail.ru

Введение

В северо-восточной части Охотского моря 24 мая 2013 года в 05 час 44 мин 49 с по Гринвичу, вблизи западного побережья полуострова Камчатка произошло сильное глубокофокусное землетрясение, с моментной магнитудой $M_w=8.3$. Значение $M_w=8.3$ соответствует категории катастрофических землетрясений. В среднем, события такой силы происходят на Земле один раз в год. Координаты эпицентра: $\varphi = 54.874^\circ$ с.ш., $\lambda = 153.281^\circ$ в.д. Гипоцентр землетрясения располагался в переходной зоне между верхней и нижней мантией, по данным USGS NEIC на глубине $h=608.9 \pm 6.2$ км [9], по данным регионального каталога КФ ГС РАН на глубине 639.81 км [10]. Землетрясение 24.05.2013 г. в Охотском море или Охотоморское землетрясение, является сильнейшим глубокофокусным землетрясением за весь период сейсмологических наблюдений не только в Охотоморском регионе, но и в мире.

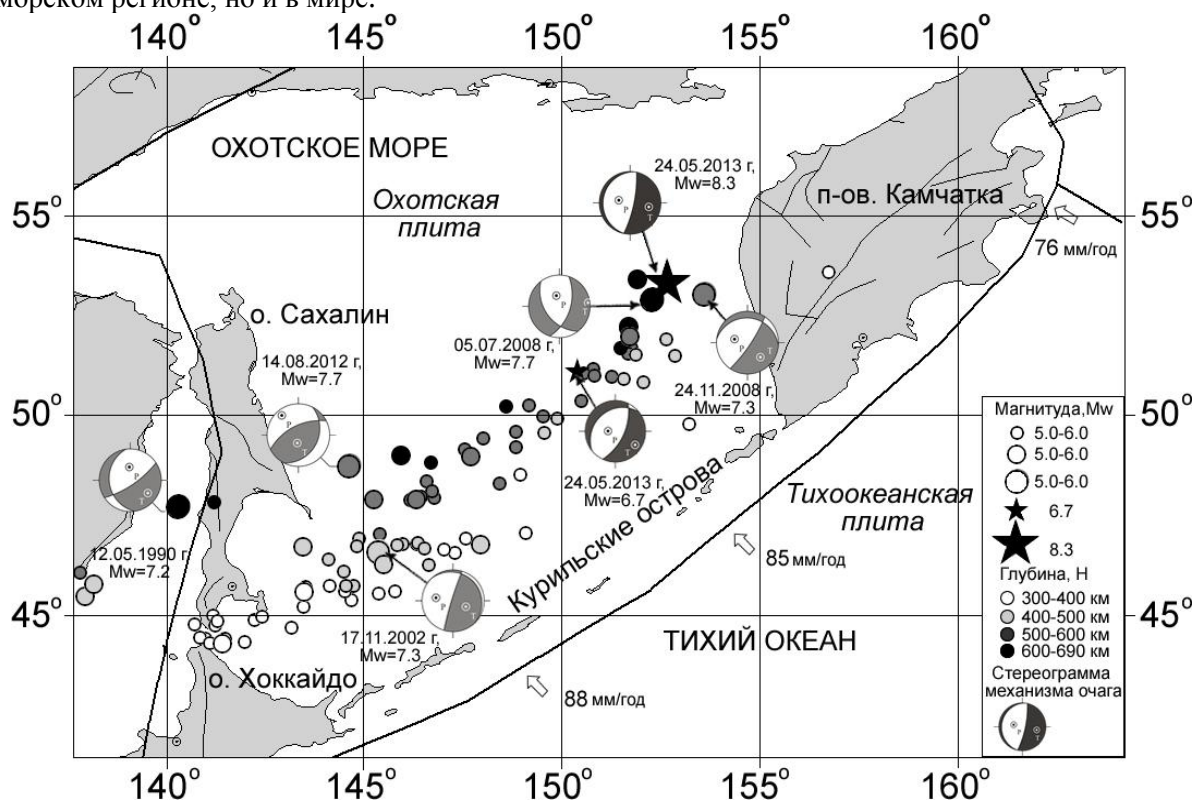


Рис. 1. Карта эпицентров глубокофокусных землетрясений Курило-Охотского региона с 1976 по 2015 гг.

В исследуемом регионе и раньше происходили сильные глубокофокусные землетрясения, но на других глубинах и в других слоях верхней мантии. Всего в рассматриваемом регионе по данным Гарвардского каталога [11] с 1976 по 2015 гг. произошло 6 глубокофокусных землетрясений с моментной магнитудой $M_w \geq 7.0$, в глубинном диапазоне 300-650 км: в 1990 г., 2002 г., два события в 2008 г., 2012 г. и Охотоморское землетрясение в 2013 г. (Рис. 1). Однако в отличие от предыдущих землетрясений этого региона, землетрясение 24.05.2013 г. оказалось сильнейшим глубокофокусным землетрясением, уникальным по своим макросейсмическим проявлениям. Согласно макросейсмическим данным землетрясение было зарегистрировано в 177 пунктах Земли [4] и ощущалось практически на всей территории России (от Камчатки до Москвы и Санкт-Петербурга) и в других странах (от Японии до Канады, США, Мексики и ряда других стран) [4]. Через девять часов

после главного толчка 24.05.2013 г. в 14 час 56 мин 31 с по Гринвичу был зарегистрирован сильнейший афтершок с параметрами: координаты $\varphi=52.222^{\circ}$ с.ш., $\lambda=151.515^{\circ}$ в.д; моментная магнитуда $M_w=6.7$, глубина очага $h=623$ км. По данным регионального каталога КФ ГС РАН после главного толчка 24 мая до конца августа 2013 г. был зафиксирован 81 афтершок. В первые сутки произошло 57 афтершоков, на следующие 7, далее активность в очаге пошла на спад [4].

Причиной возникновения глубокофокусных землетрясений в данном регионе является погружение Тихоокеанской плиты в мантию Земли. Тихоокеанская плита пододвигается под Охотскую литосферную плиту со средней скоростью 80 мм/год. Фазовый переход вещества мантии Земли, происходящий на глубине около 670 км, препятствует дальнейшему погружению плиты, что приводит к ее деформации, накоплению напряжений, которые высвобождаются в результате глубокофокусных землетрясений.

Возможные причины, объясняющие регистрацию упругих колебаний от очага Охотоморского землетрясения на больших расстояниях от эпицентра могут быть связаны с большой магнитудой и большой глубиной очага, при сочетании этих условий мог иметь место подобный макросейсмический эффект, который наблюдался при Охотоморском землетрясении. Макросейсмический эффект, вызванный глубокофокусным землетрясением 24.05.2013 г. может быть также объяснен наличием переходного слоя или слоя с пониженной скоростью. При наличии в скоростном разрезе слоя пониженной скорости ход лучей претерпевает изменение, и волны могут проследиваться на больших расстояниях. Кроме того, могли возникать так называемые – каналовые волны [5], т.е. «волноводы» – слои в которых волны многократно отражаясь от выше и ниже лежащих поверхностей, снова распространяются и проследиваются на значительном расстоянии в слое.

Методика исследований

Для изучения особенностей современного поля напряжений в северной части Курило-Охотского региона перед землетрясением 24.05.2013 г. Применялся метод катакластического анализа совокупностей механизмов очагов землетрясений (МКА) [6]. В рамках метода можно оценить не только ориентацию главных осей, но и величины напряжений. Метод катакластического анализа совокупностей механизмов очагов землетрясений является развитием методологии изучения природных полей тектонических напряжений, включающий методы реконструкции ориентации осей главных напряжений и сейсмотектонических деформаций, по данным о совокупностях механизмов очагов землетрясений [1-3, 7, 8 и др.]. Исходными данными для МКА служат сейсмологические параметры механизмов очагов землетрясений (решения тензора момента центроида землетрясений – СМТ), данные о величине напряжений, снимаемых в очагах сильных землетрясений, топография и мощности основных слоев земной коры (осадки, гранитный и базальтовые слои). Реконструкция компонентов тензоров напряжений, приращений квазипластических деформаций и оценка механических свойств осуществляются в несколько этапов. В данной работе представлены результаты двух первых этапов.

Реконструкция напряженного состояния выполнялась на основе данных СМТ с сайта Гарвардского каталога [11]. Рабочий каталог насчитывает 201 СМТ решение для землетрясений, произошедших за период с 06.01.1976 г. по 24.05.2013 г. с магнитудами $4.7 \leq M_w \leq 7.5$. Основной глубинный диапазон механизмов очагов землетрясений заключен в диапазоне от 120 до 180 км. Наиболее представительным является диапазон магнитуд от 5.0 до 6.0. Анализ рабочего каталога механизмов очагов землетрясений показал, что в нем содержится 28.9% механизмов очагов отвечающих сбросам, 23.4% поддвигам, 22.9% взбросам, 15.4% сдвигам и 9.5% пологим надвигам.

При реконструкции использовались механизмы от 4.7 до 7.8. Обработка исходных сейсмологических данных производилась, в пределах области $44^{\circ} - 57^{\circ}$ с.ш. и $139^{\circ} - 159^{\circ}$ в.д. в узлах сетки $0.1^{\circ} \times 0.1^{\circ}$ в латеральном направлении, для двух глубинных интервалов 120-220 и 300-660 км. Определение параметров поля напряжений осуществлялось в квазигомогенных доменах, путем выделения однородных выборок механизмов очагов землетрясений, минимальное число событий – 6, максимальное – 10. Для каждого из доменов рассчитывались средние за весь период наблюдений параметры тензора напряжений.

Обсуждение результатов

По результатам реконструкции были построены проекции на горизонтальную плоскость осей погружения главных напряжений максимального девиаторного сжатия, растяжения и промежуточного главного напряжения. Выполнено районирование по типу напряженного состояния,

построены схемы распределения значений коэффициентов Лоде-Надаи и относительного эффективного всестороннего давления.

В исследуемом регионе в большинстве случаев оси максимального девиаторного сжатия σ_3 и растяжения σ_1 ориентированы почти ортогонально простиранию Курильского желоба, с пологим погружением под океаническую плиту оси сжатия и под континентальную плиту оси растяжения. Ось промежуточного главного напряжения σ_2 направлена вдоль простирания Курильского желоба. Единая закономерность в распределении параметров главных осей (0-30, 30-60, 60-90 км) отражается в типе напряженного состояния (геодинамическом режиме) – большая часть исследуемого региона имеет режим горизонтального сжатия. Однако с глубиной наблюдается изменение ориентации и угла наклона осей главных напряжений и начинают формироваться новые типы напряженного состояния.

Для глубинного диапазона 120-220 км (рис. 2, б), в направлении с юга на север, выделены несколько областей: район о. Кунашир и о. Итуруп – тип напряженного состояния горизонтальный сдвиг в сочетании с горизонтальным сжатием, на траверзе о-вов Черные Братья, три домена – тип напряженного состояния горизонтальный сдвиг, и область вблизи восточного побережья п-ва Камчатка, тип напряженного состояния – поддвиг. Для глубинного интервала 300-660 км (рис. 2, а) установлены три области с разными геодинамическими режимами: у южной оконечности о. Сахалин тип напряженного состояния горизонтальный сдвиг в сочетании с горизонтальным сжатием, район глубоководной Курильской котловины – горизонтальное сжатие и поддвиг, на траверзе северных Курильских островов установлена область горизонтального растяжения. По данным ИОЦ ГС РАН [10] землетрясение 24.05.2015 г. возникло под действием небольшого преобладания напряжений растяжения, ориентированных на восток. Тип движения – сброс по крутой плоскости NP1 во всех решениях, по пологой плоскости NP2 – сдвиг с компонентами сброса [10] и пологий сброс по данным USGS NEIC [9]. По результатам реконструкции поле напряжений в области подготовки Охотоморского землетрясения 24.05.2015 г. и его сильнейшего афтершока характеризуется типом напряженного состояния – горизонтальное растяжение.

Анализ распределения относительного эффективного всестороннего давления показал, что для рассматриваемых глубинных диапазонов (120-220 и 300-660 км) в основном параметр эффективного всестороннего давления принимает значения от 0 до 4, исключением являются области в районе южной оконечности о. Сахалин (глубинный диапазон 300-600 км) и вблизи восточного побережья п-ва Камчатка (глубинный диапазон 120-220 км), в этих участках параметр эффективного всестороннего давления принимает значения от 8 до 16. Область подготовки Охотоморского землетрясения 24.05.2013 г. и его сильнейшего афтершока характеризуется наименьшими величинами относительного эффективного всестороннего давления.

Заключение

Выполненные на основе МКА реконструкции параметров современного поля напряжений в Курило-Охотском регионе позволили установить особенности изменения регионального поля тектонических напряжений с глубиной (глубинные диапазоны 120-220 км и 300-660 км). В основном изменение характера поля напряжений наблюдается вблизи, областей локальных аномалий приуроченных к сегментам сочленения литосферных плит или участкам резкого изменения простирания границ плит. Напряженное состояние области подготовки Охотоморского землетрясения и его главного афтершока отвечает режиму горизонтального растяжения и характеризуется наименьшими величинами относительного эффективного всестороннего давления.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-05-08903, гранта ДВО РАН 15-П-2-016 и гранта президента РФ МК-6640.2015.5.

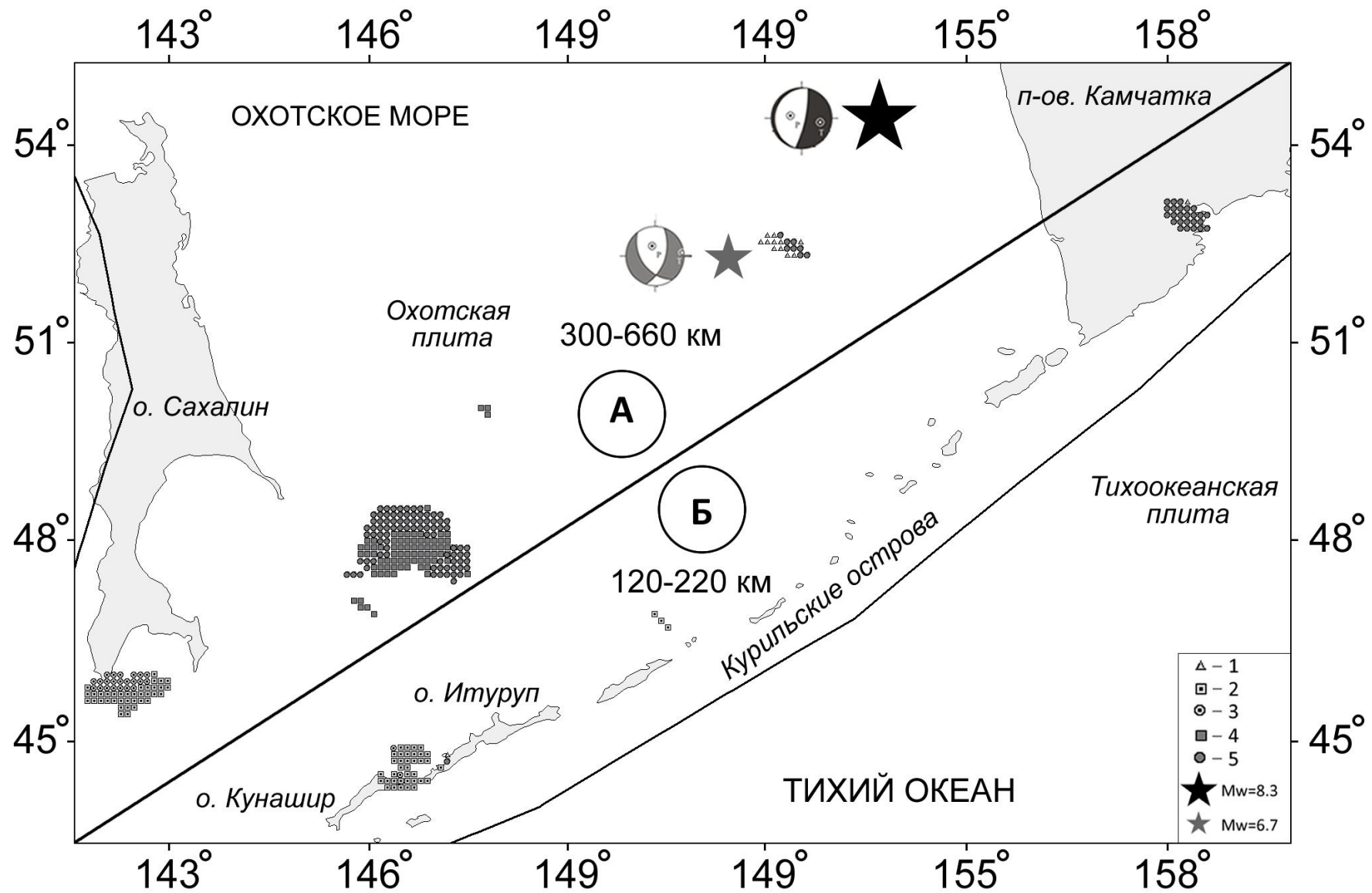


Рис. 2. Тип напряженного состояния, характеризующий геодинамический режим района исследований: 1 – растяжение; 2 – сжатие; 3 – сжатие-сдвиг; 4 – сжатие; 5 – поддвиг. а) – глубинный диапазон 300-660 км; б) – глубинный диапазон 120-220 км.

Список литературы

1. Гзовский М.В. Основы тектонофизики. М.: 1975. 535 с.
2. Гущенко О.И. Метод кинематического анализа структур разрушения при реконструкции полей тектонических напряжений. Поля напряжений в литосфере. М.: Наука. 1979. С. 7-25.
3. Гущенко О.И. Сейсмотектонический стресс-мониторинг литосферы (структурно-кинематический и основные элементы алгоритма) // Докл. РАН. 1996. Т. 346. № 3. С 399-402.
4. Иванова Е.И., Митюшкина С.В. Раевская А.А., Чеброва А.Ю. Охотоморское землетрясение 24 мая 2013 г. ($M_w=8.3$) и его макросейсмический эффект // Сборник докладов IV научно-технической конференция «Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России». 2013. С. 157-162.
5. Павленкова Н.И. Волновые поля и модель земной коры. Киев: Наукова Думка, 1973. 215 с.
6. Ребецкий Ю.Л. Тектонические напряжения и прочность природных горных массивов. М.: Академкнига. 2007. 406 с.
7. Юнга С.Л. Методы и результаты изучения сейсмотектонических деформаций. М.: 1990. 190 с.
8. Angelier J., Tectonic analysis of fault slip data sets // Geoph. Res. 1984. N 89. P 5835-5848.
9. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search>
10. <http://www.gsras.ru>
11. <http://ww.global.org>