

Глубинное строение и аномалии геофизических полей Южной Камчатки

Ю.Ф. Мороз^{1,2}, Л.И. Гонтовая¹

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский, 683006, e-mail: morozyf@kscnet.ru

²Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, 670047 e-mail: morozyf@kscnet.ru

Установлены отличия структуры и свойств земной коры и верхней мантии Южной и Северной Камчатки. В области их сочленения выделена зона глубинных поперечных разломов. Рассмотрена природа аномалий электропроводности предвещающие и сопровождающие Охотоморское землетрясение.

Данные сейсмологии, геоэлектрики, магнитного поля, гравиметрии, теплового поля и другие геолого-геофизические сведения содержат информацию о структуре земной коры и верхней мантии Южной Камчатки, которая по ряду признаков существенно отличается от северных районов полуострова. Мы также располагаем результатами многолетнего мониторинга электропроводности литосферы на побережье Авачинского залива Южной Камчатки, где ожидается катастрофическое землетрясение по долгосрочному прогнозу С.А.Федотова [7]. Совместному анализу выявленных особенностей глубинного строения Южной Камчатки и аномальных изменений физических свойств литосферы и посвящена настоящая статья.

Представление о глубинном строении верхней мантии Камчатского региона дают данные структурной сейсмологии, в частности, сейсмотомографические изображения скоростной модели, которая построена по данным продольных волн от удаленных землетрясений до глубины 700 км [3, 9]. Разработанная скоростная модель сопоставлена с особенностями распределения гипоцентров землетрясений, взятым из регионального каталога данных Камчатского филиала Геофизической службы (КФ ГС) РАН. Сейсмотомографическая модель свидетельствует о значительных отличиях общей структуры верхней мантии по простиранию полуострова. На юге отмечены две контрастные высокоскоростные зоны, разделенные интервалами (более 100км) относительно пониженной скорости и сейсмического молчания. Верхняя высокоскоростная зона до глубин 200-250 км хорошо выражена в районе Восточной Камчатки до пересечения с Алеутской островной дугой. Нижняя высокоскоростная зона глубже 300-400 км расположена на юге полуострова, а именно, в районе юго-восточной окраины Охотского моря. Эта зона вытянута в юго-западном направлении в сторону Курильских островов (рис.).

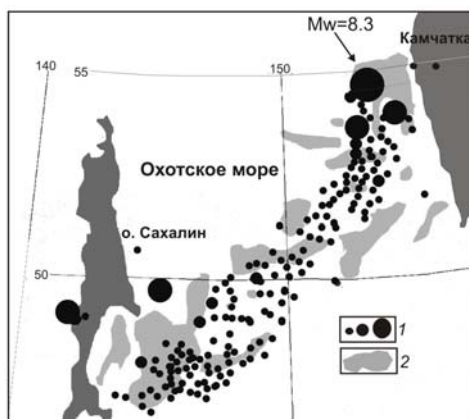


Рис. Зона глубинной сейсмичности в районе Южно-Охотской впадины: 1 – эпицентры землетрясений на глубинах 400-700 км; 2 – районы с мощностью молодых осадков и глубиной дна 1 ± 0.3 км.

Она параллельна глубоководному желобу. В северо-восточном направлении (за пределами района Южной Камчатки) зона глубокофокусных землетрясений не проявляется. Отметим, что зоны интенсивной сейсмичности в зоне перехода от верхней к нижней мантии присутствуют и в других регионах периферии Тихого океана (Япония, о. Ява, Филиппинские о-ва, дуга Тонга-Кермадек и другие), составляя около 25% ее общей протяженности.

По данным региональных землетрясений, зарегистрированных камчатской сетью станций КФ ГС РАН, нами разработана скоростная модель литосферы Камчатки с более высоким разрешением. Она в значительной мере дополняет сейсмотомографическую модель, рассмотренную выше, и позволяет составить представление об особенностях глубинного строения земной коры и верхней мантии до глубины около 200 км [5]. Из разрезов вдоль полуострова видно, что литосфера Южной Камчатки на глубинах 50-150 км характеризуется повышенными значениями скоростей продольных волн по сравнению с северной частью Камчатки. Значительные отличия отмечены также в поле скоростей поперечных волн. Анализ особенностей распределения скоростных параметров и гипоцентров землетрясений в коре и мантии юга Камчатки свидетельствует, что эти особенности более сопоставимы с глубинной моделью района северных Курил чем Северной Камчатки. Принимая во внимание существование зоны глубокофокусных землетрясений в районе Курильских островов и Южной Камчатки, а также отмеченные выше особенности скоростной структуры литосферы и глубокой мантии, можно показать, что юг Камчатки, как и Северные Курилы, находятся под влиянием схожих тектонических процессов. К этому следует отнести также и то, что на Южной Камчатке неогеновый, палеогеновый и четвертичный вулканизм выражен в единой вулканической зоне. На Северной Камчатке существуют две (или три) вулканические зоны, различные по своему возрасту, расстояние между которыми не менее 100 км. Южная Камчатка в геомагнитном поле характеризуется сочетанием линейных положительных и отрицательных аномалий северо-западного простирания, имеющих продолжение в акватории Тихого океана. Данные аномалии отражают разломные структуры, ориентированные поперек простирания Камчатки. На этом основании существует представление, что структуры подстилающего основания являются поперечными по отношению к простиранию молодых (четвертичных) сооружений Южной Камчатки.

Возникает вопрос о границе между структурами Южной и Северной Камчатки. Данная граница в современном тектоническом плане может быть выражена зоной поперечных структур (глубинных разломов). Такой структурой, по-видимому, является Петропавловск-Малкинская зона поперечных дислокаций [2]. На геологической карте, обобщающей геолого-геофизические исследования, выделяются фрагменты глубинных разломов, пересекающих Камчатку в поперечном направлении от Петропавловска-Камчатского до п. Крутогорovo [4].

По данным глубинных магнитотеллурических зондирований также установлена зона глубинных разломов поперечного направления, к которой приурочена Авачинско-Корякская группа вулканов. Зона разломов имеет продолжение в акваторию Авачинского залива Тихого океана. Приведенная информация свидетельствует, что в области сочленения Южной и Северной Камчатки выделяется зона поперечных глубинных разломов. На сейсмотомографическом разрезе данная зона приурочена к высокому градиенту изменения глубины залегания подошвы астеносферного слоя, выраженного отрицательными аномалиями скорости в его пределах.

Большой интерес представляет динамика физических свойств земной коры и верхней мантии Южной Камчатки, характеризующейся высокой сейсмической, вулканической и гидротермальной активностью. Данные многолетнего мониторинга электромагнитного поля Земли дают возможность получить представление об изменении глубинной электропроводности мантии, включающей зону перехода от

верхней и нижней мантии на глубинах 400-700 км. Оно получено на основе сравнительного анализа вековых ходов вертикальной составляющей на Южной Камчатке (обс. Паратунка), на о. Хоккайдо (ст. Калиоки), о. Хонсю (обс. Мамамбецу) и в Байкальской рифтовой зоне (обс. Патроны). В поведении вековых ходов в период с 1968 до 2001 гг на всех четырех обсерваториях выражены подобные вариации. Характерно, что с 2001 по 2014 гг. в поведении годовых ходов только в обс. Патроны (г. Иркутск), Калиоки и Мамамбецу проявилась вариация интенсивностью около 100 нТл. Однако в обс. Паратунка данная вариация практически не выражена.

Предполагается, что выявленные особенности могут быть обусловлены изменением физического состояния мантии в районе Южной Камчатки, где расположена геомагнитная обсерватория. Информацию о динамике физических свойств пород на больших глубинах (400-700 км) дают данные многолетнего сейсмического мониторинга по мировой и региональным сетям сейсмологических станций. Сейсмичность рассмотрена на расстояниях от обсерваторий, соизмеримых с расстояниями до гипоцентров сильных глубоких землетрясений, которые могли оказать существенное влияние на физическое состояние верхней мантии. Анализ показал, что в районах Японии и Байкальского рифта сильных землетрясений ($M \geq 6$) на указанных глубинах за последние 35 лет не было. Сильные глубокие землетрясения ($H \geq 600$ км) в рассматриваемый период произошли только в районе Южной Камчатки. Они сопровождались многочисленными афтершоками на глубинах 400-700 км (рис.). Сильнейшим из них является Охотоморское землетрясение на глубине около 630 км с магнитудой $M_w = 8,3$ (Global GMT). По данным регионального каталога КФ ГС РАН энергетический класс землетрясения $K_s = 17$, эпицентр его располагался на расстоянии примерно 100 км к западу от побережья Южной Камчатки. Землетрясение ощущалось на расстоянии 9500 км [8].

О возможной природе аномального поведения геомагнитного поля в обс. Паратунка можно отметить следующее. По данным сейсмической томографии зона перехода от верхней к нижней мантии в районе Южной Камчатки отличается пониженной скоростью сейсмических волн по сравнению с японскими островами [9]. Возможно в результате землетрясений на глубинах 400-700 км выделилась энергия, изменились температура и давление. Это привело к усилению физико-химических процессов, дегидратации вещества и выделения водосодержащего флюида [6]. Появление жидкой фазы в гальванически связанном состоянии даже в объеме сотых долей процента приведет к сильному увеличению электропроводности [1,10]. Интегральная проводимость толщи пород на глубинах 400-700 км возрастет на несколько порядков. Появление такой проводящей глубинной неоднородности в районе Южной Камчатки, по-видимому, оказало сильное влияние на поведение вековой вариации геомагнитного поля.

Следует также отметить аномальное изменение электропроводности литосферы на п. Шипунский по данным мониторинга электромагнитного поля Земли. Здесь в 2011-2016 гг. проявилась аномалия, выраженная уменьшением удельного электрического сопротивления почти на порядок. Минимум аномалии отмечается в 2013 году, когда произошло Охотоморское землетрясение. Анализ с привлечением численного моделирования магнитотеллурического поля свидетельствует, что изменение электропроводности можно связать со степенью насыщенности разломов минерализованными растворами при растяжении или сжатии литосферы при геодинамических процессах при подготовке и сопровождении Охотоморского землетрясения.

Выводы

1. В результате комплексного анализа геолого-геофизических данных установлено, что Южная Камчатка по глубинному строению отличается от Северной.

Она находится под влиянием глубинных процессов, протекающих в районе Северных Курил и Южно-Охотской впадины. В области сочленения Южной и Северной Камчатки выделяется зона глубинных поперечных разломов, пересекающих Камчатку. Основанием для этого является единая зона глубокофокусных землетрясений для Южной Камчатки и Курильской островной дуги, особенности в распределении скоростных неоднородностей в земной коре и верхней мантии, проявления по площади вулканизма различного возраста, поведение аномальных зон геомагнитного поля и другие.

2. По данным наблюдений электромагнитного поля Земли выявлены аномальные изменения вековых вариаций геомагнитного поля и динамики электропроводности земной коры и мантии, связываемые с сильнейшим ($M_w=8,3$) Охотоморским землетрясением в районе Южной Камчатки. Аномальное поведение геомагнитного поля связывается с изменением глубинной электропроводности. В результате землетрясений на глубинах 400-700 км выделяется энергия, изменились температура и давление. Это привело к дегидратации и выделению водосодержащего флюида. Появление влажности привело к увеличению электропроводности на порядки

3. На полуострове Шипунский выявлены аномальные изменения электропроводности литосферы, предвещающие за несколько лет и сопровождающие Охотоморское землетрясение. Эффект связывается с изменением проводимости поперечных разломов северо-западного простирания, пересекающих Южную Камчатку и имеющих продолжение в акваторию Тихого океана и Охотское море. Предполагается, что проводимость разломов испытывает изменение за счет степени их насыщенности минерализованными растворами при растяжении и сжатии литосферы при геодинамических процессах в связи с землетрясениями.

Список литературы

1. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. Научный мир, М., 1997. 219 с.
2. Геология СССР. Камчатка, Курильские и Командорские острова. Геологическое описание. Т. 31. М.: Недра, 1964, 733 с.
3. Жао Д., Пирайно Ф., Лиу Л. Структура и динамика мантии под Восточной Россией и прилегающими регионами // Геология и геофизика. 2010. Т. 51. № 9. С. 1188-1203.
4. Карта полезных ископаемых Камчатской области. Масштаб 1 : 500000 / Под ред. Литвинова А.Ф., Патоки М.Г., Марковского Б.А. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. Л. XIII.
5. Мороз Ю.Ф., Гонтовая Л.И. Глубинное строение Камчатки по результатам МТЗ и сейсмотомографии // Тихоокеанская геология. 2017. Том 36. № 5. С. 44-58.
6. Отани Э., Жао Д. Роль воды в глубинных процессах в верхней мантии и переходном слое: дегидратация стагнирующих субдукционных плит и ее значение для «большого мантийного клина» // Геология и геофизика. 2013. № 2. С. 12–26.
7. Федотов С.А., Соломатин А.В., Чернышов С.Д. Долгосрочный сейсмический прогноз для Курило-Камчатской дуги на IX 2011 – VIII 2016 гг.; вероятное место, время и развитие следующего сильнейшего землетрясения Камчатки с $M \geq 7,7$ // Вулканология и сейсмология. 2012. №2. С. 3-26.
8. Чеброва А.Ю. и др. Воздействие Охотоморского землетрясения 24 мая 2013 г. ($M=8,3$) // Вулканология и сейсмология. 2015. № 4. С. 3-22.
9. Jiang J., Zhao D. High-resolution mantle tomography of China and surrounding regions // I. Phys. Planet. Inter. 2006. V. 111. № B09305. P. 1-15.
10. Shankland T.I., Waff H.S. Conductivity in fluid-bearing rocks // J. Geophys. Res. 1977. V. 82. № 8. P. 5409-5417.