

О динамике электропроводности геологической среды в зоне субдукции на Камчатке

Мороз Ю. Ф.¹, Смирнов С. Э.²

¹Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Петропавловск-Камчатский

²Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН, с Паратунка Камчатский край.

Рассмотрены временные ряды электропроводности литосферы по данным мониторинга электромагнитного поля Земли с 2001 по 2016 гг. в пунктах Верхняя Паратунка, Тундровый и Шипунский, расположенных на побережье Авачинского залива Камчатки, где по долгосрочному прогнозу ожидается катастрофическое землетрясение. В поведении временных рядов полугодовых значений электропроводности литосферы в большей мере в период с 2012 по 2016 гг проявились изменения в п. Шипунский, который находится вблизи сейсмофокальной зоны. Выявленные изменения электропроводности литосферы связываются с влиянием проводимости зон разломов на п-ове Шипунский, которая, по – видимому, меняется из-за наличия минерализованных растворов при сжатии и растяжении земной коры при геодинамических процессах в зоне субдукции. Изменения электропроводности литосферы из-за влияния проводимости разломов подтверждены данными численного трёхмерного моделирования магнитотеллурического поля.

Ключевые слова : литосфера, временные ряды электропроводности, мониторинг, проводимость разломов, геодинамические процессы, субдукция

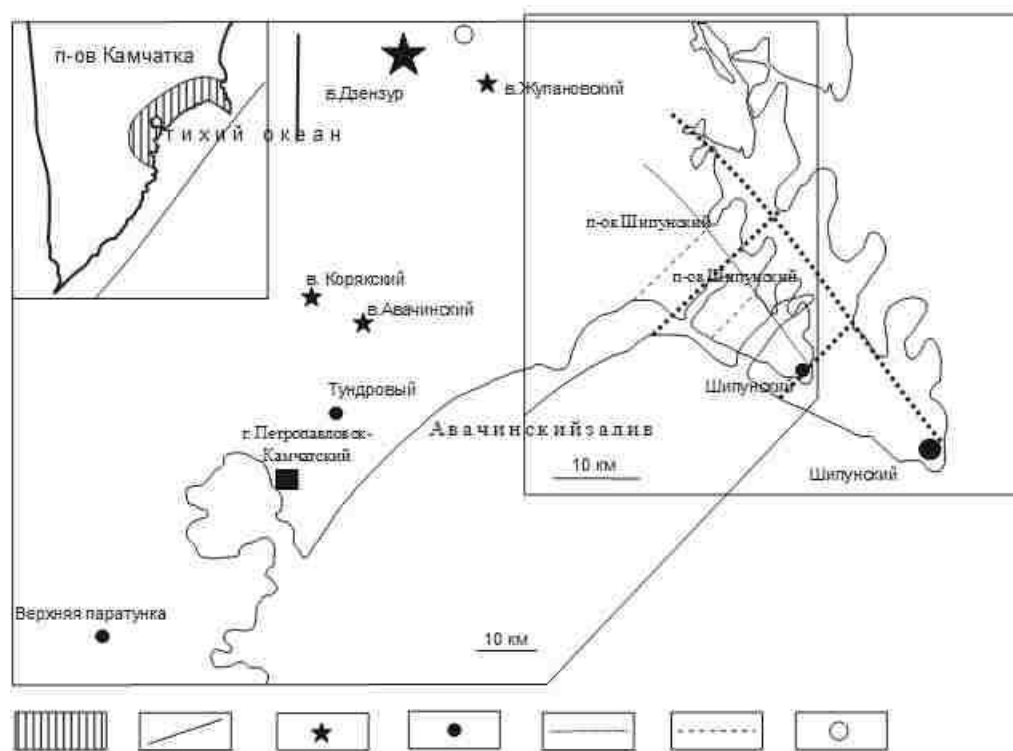


Рис. 1. Схема расположения пунктов наблюдений электромагнитного поля Земли. На врезке изображено положение района исследований. 1 - район исследований; 2 – глубоководный жёлоб; 3 – вулканы; 4 – пункты наблюдений; 5 и 6 - продольный и поперечные разломы на п-ове Шипунский [3]. Большой звёздочкой отмечен эпицентр Жупановского землетрясения.

Большой научный и прикладной интерес представляют результаты изучения динамики литосферы электропроводности на Тихоокеанском побережье Камчатки, где по дол-

госрочному прогнозу ожидается катастрофическое землетрясение с $M \geq 8.5$ [9]. Здесь с 2001 года осуществляется мониторинг электропроводности литосферы в пунктах Верхняя Паратунка, Тундровый, Шипунский на побережье Авачинского залива (рис.1). Пункт Шипунский приближен к зоне субдукции, где в большей мере проявились изменения глубинной электропроводности в последние годы. Полученные результаты и возможная природа изменения электропроводности литосферы рассмотрены в настоящем сообщении.

Методика наблюдений и обработки данных электромагнитного мониторинга

На всех пунктах приемные каналы регистрации электромагнитного поля ориентированы по направлениям С-Ю и В-З, а также по направлениям осей геоэлектрической неоднородности среды. В п. Шипунский наблюдения поля осуществлялись по основным и дублирующим линиям различной длины, которая определяется входным импедансом среды на различных частотах и интенсивностью магнитного поля [6]. Эксплуатация пунктов наблюдений и предварительная обработка данных выполняется Камчатским филиалом Геофизической службы РАН. [7]. Более глубокая обработка полученной информации осуществляется с использованием специальной программы, создающей входные данные для расчётов передаточных магнитотеллурических функций в широком диапазоне периодов. Эти входные данные, созданные автоматически, представляют собой синхронные временные ряды электрического и геомагнитного полей заданной продолжительности. По ним для различных временных интервалов определяется магнитотеллурический импеданс [1]. Для определения электропроводности среды использована программа, алгоритм которой основан на известной робастной методике, разработанной Дж.Ларсеном. [10]. Анализ показал, что для получения устойчивых главных значений импеданса в диапазоне периодов от первых минут до первых часов необходим временной массив с дискретностью 1 минута не менее 5 суток. В результате обработки временных рядов электромагнитного поля в пп. Верхняя Паратунка, Тундровый, Шипунский с 2001 по 2016 года получены главные значения кажущегося электрического сопротивления в диапазоне периодов от 300 до 10000 секунд для временных интервалов равным 5 суткам. С меньшей дисперсией характеризуются временные ряды в пп. Верхняя Паратунка, Тундровый и Шипунский на периоде 500 с. Они в дальнейшем пересчитаны в средние полугодовые значения кажущегося электрического сопротивления.

Интерпретация временных рядов электропроводности литосферы

Полученные временные ряды кажущегося сопротивления и фазы импеданса изображены на рис. 2. В п. Верхняя Паратунка и Тундровый полугодовые значения кажущегося сопротивления и фазы импеданса практически не меняются. Отдельные отклонения значений сопротивления и фаз импеданса от графиков находятся в пределах ошибок их определения. В пп. Шипунский изменения электропроводности геологической среды за последние 5 лет. проявились на обеих установках приёмных каналов. Так, по направлению вдоль зоны субдукции (т.е. вкост простирания п-ова Шипунский) кажущееся электрическое сопротивление уменьшается от первых тысяч до первых сотен Ом·м. Вкост зоны субдукции (т. е. по простиранию п-ова Шипунский оно увеличилось примерно в 2 раза. Анализ показывает, что изменение электропроводности геологической среды не связано с метеорологическими факторами. Также нельзя объяснить его влиянием внешнего ионосферного, магнитосферного источника. Важно отметить, что для определения электропроводности использованы вариации электрического и геомагнитного полей с когерентностью не менее 0.8. В пользу отсутствия влияния внешнего источника свидетельствуют данные мо-

нитинга электропроводности в пп. Верхняя Паратунка и Тундровый, где кажущееся сопротивление и фаза импеданса практически не меняются на протяжении 15 лет. Можно полагать, что изменение электропроводности геологической среды в п. Шипунский связано с геодинамическими процессами.

Как мы уже отмечали, п-ов Шипунский расположен в зоне субдукции, где ярко выражены процессы, связанные с сейсмичностью. Землетрясения в зоне субдукции вызваны напряжениями, возникающими при погружении океанической плиты под Камчатку. Земная кора в результате такого воздействия может испытывать сжатие или растяжение, что может повлиять на поведение электропроводности земной коры. Возникает вопрос, каким образом изменение напряжённости литосферы влияет на её электропроводность. Известно, что существенное влияние на электропроводность горных пород оказывает наличие высокоминерализованных растворов в порах, образующих связанные каналы. Такими каналами являются многочисленные трещины и разломы. На полуострове Шипунском выявлены разломы северо-восточного и северо-западного простираний, т.е. по направлениям вдоль и вкрест простирания зоны субдукции (рис.1) Разломы выражены в приповерхностных частях разреза зонами повышенной трещиноватости пород [3].

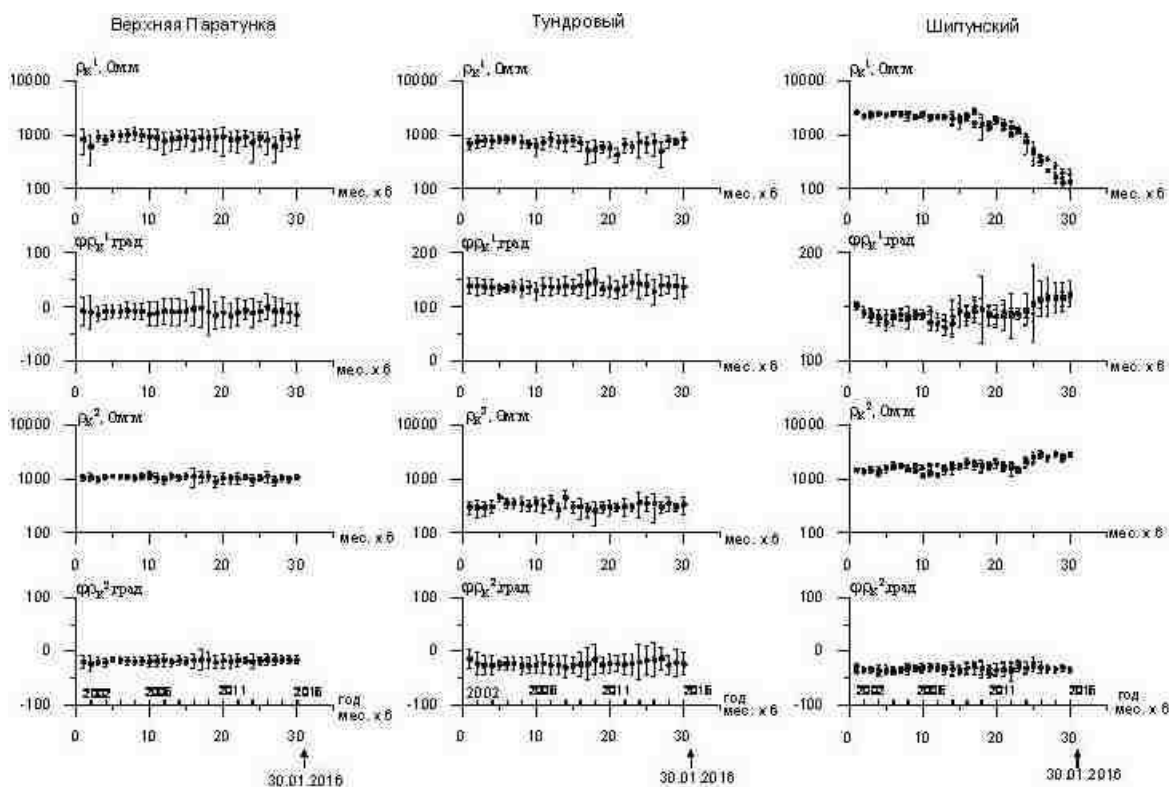


Рис. 2. Временные ряды полугодовых значений кажущегося электрического сопротивления и фазы импеданса на периоде 500 с в пп.Верхняя Паратунка, Тундровый и Шипунский. ρ_k^1, ϕ^1 и ρ_k^2, ϕ^2 - кажущееся электрическое сопротивление и фаза импеданса в направлениях по простиранию и вкрест сейсмофокальной зоны. В п. Шипунский на графиках $\rho_{ки} \phi$ кружки и квадратики обозначают значения сопротивлений и фаз, полученных для приёмных линий различной длины.

Попытаемся оценить возможные изменения электропроводности геологической среды в связи с различной электропроводностью разломов на п-ове Шипунский. С этой целью выполнено численное моделирование магнитотеллурического поля с использованием трёхмерной пробной модели южной Камчатки, включающей разломы на п-ове Шипунский. Геоэлектрические параметры верхнего слоя на суше приняты из работы [4,5]. Мощность осадочно-вулканогенного чехла составляет 3 км, а удельное электрическое сопротивление

50 Ом •м. В модель включены разломы, которые выявлены по геолого-геофизическим данным [3]. Один из этих разломов проходит вдоль п-ова Шипунский (рис.1). Удельное электрическое сопротивление морской воды принято 0.25 Ом •м. Глубинные геоэлектрические разрезы континента и дна океана приняты из работы [2] для теплового потока изучаемой территории в 60 мВт/м² и возраста дна омывающих морей и океана в 40 млн. лет [8]. В результате моделирования по программе Макки [11] получены кривые МТЗ по главным направлениям для моделей с проводящими и непроводящими разломами и локально-нормальные кривые. В случае, если пункт наблюдения находится в зоне проводящего разлома вдоль п-ова Шипунский, то электрическое сопротивление по направлению вдоль сейсмофокальной зоны при увеличении проводимости разлома уменьшается почти на порядок из-за действия эффекта "S".. При этом сопротивление в направлении вкрест простирания сейсмофокальной зоны заметно возрастает. Таким образом, данные моделирования подтверждают изменения продольного и поперечного электрического сопротивления литосферы из-за влияния проводящих глубинных разломов. Проводимость разломов определяется степенью их насыщенности минерализованными растворами, которая зависит, по-видимому, от напряжённости литосферы в зоне субдукции. Предполагается, что изменение электрического сопротивления верхних частей литосферы связано с увеличением или уменьшением степени насыщенности разломов минерализованными флюидами при растяжении или сжатии земной коры при геодинамических процессах в зоне субдукции. Причиной изменения степени насыщенности минерализованными растворами может быть активизация процессов в сейсмофокальной зоне в связи с Жупановским землетрясением произошедшем 30.01.216 г. на глубине 178 км с $M_W=7.1$. Эпицентр находился на расстоянии около 85 км от п. Шипунский. Это землетрясение является самым сильным за последние 30 лет на указанном эпицентральной расстоянии до данного пункта. Также нельзя исключать вероятность аномального увеличения электропроводности в п. Шипунский в последние годы в связи с подготовкой катастрофического землетрясения в Авачинском заливе, согласно долгосрочному прогнозу Федотова С. А. [9].

Литература

1. Бердичевский М.Н., Дмитриев В.И. Модели и методы магнитотеллурики. М.: Научный мир. 2009. 680 с.
2. Ваньян Л.Л. Электромагнитные зондирования. М.: Научный мир, 1997. 219 с.
3. Карта полезных ископаемых Камчатской области. Масштаб 1 : 500000/ Под ред. Литвинова А.Ф., Патоки М.Г., Марковского Б.А. СПб.: ВСЕГЕИ, 1999. Л. XIII.
4. Мороз Ю.Ф. Электропроводность земной коры и верхней мантии Камчатки. М.:Наука, 1991. 181 с.
5. Мороз Ю.Ф., Нурмухамедов А.Г. Магнитотеллурическое зондирование Петропавловского геодинамического полигона на Камчатке // Вулканология и сейсмология. 1998. № 2. С.77-84.
6. Мороз Ю.Ф. О методике поисков краткосрочных предвестников сильных землетрясений в низкочастотном теллурическом поле Камчатки//Физика Земли. 1994.№9. С.88-90.
7. Мороз Ю.Ф., Бахтияров, В.Ф.,Гаврилов, В.А., Левин, В.Е.,Попруженко С.В. О мониторинге электротеллурического поля с целью прогноза сильных землетрясений на Камчатке //Вулканология и сейсмология.1995. N4-5.С.139-149.
8. Смирнов Я.Б., Сугробов В.М. Земной тепловой поток в Курило-Камчатской и Алеутской провинциях. I. Тепловой поток и тектоника. // Вулканология и сейсмология. 1979. №.1. с. 59-73.
9. 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 $M \geq$ // Вулканология и сейсмология.2012. № 2 С.3-26.

10. Larsen I.C., Mackie R.L., Manzella A., et al. Robust smooth magnetotelluric transfer functions // Geophysical Journal International. 1996. V. 124. P. 801-819

11. *Mackie K.L.*, *Smith.J.T.*, *Madden T.R.* Three-dimensional electromagnetic modeling using finite difference equations: the magnetotelluric example // Radio Science. 1994. № 29. P. 923-935.