

Поле земной волны над разломной зоной

БАШКУЕВ Ю. Б.¹, ДЕМБЕЛОВ М. Г.¹, НАГУСЛАЕВА И. Б.¹, ХАПТАНОВ В. Б.¹,
ДРУЖИН Г. И.²

¹Институт физического материаловедения СО РАН г. Улан-Удэ, Россия

²Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН
с. Паратунка, Камчатский край, Россия
e-mail:buddich@mail.ru drug@mail.ru;

Процессы распространения широкополосных сейсмогенных электромагнитных эмиссий исследованы не достаточно полно и всесторонне [1]. При мониторинге электромагнитных процессов в нагруженных горных породах решающее значение для его эффективности имеет выбор места расположения пункта наблюдения с соответствующим типом подстилающей среды. С точки зрения распространения радиоволн это задача о влиянии "посадочной площадки" на чувствительность и, в целом, эффективность работы сейсмоэлектромагнитного приемного комплекса. Наиболее интересными с точки зрения выбора места для пункта наблюдения являются зоны разломов в земной коре. Ширина зон разломов составляет от десятков метров до десятков километров, протяженность – единицы, десятки и сотни километров. Геоэлектрическая модель разлома представляет чаще всего линейную зону повышенной электропроводности с резко очерченными субвертикальными границами. В задачах сейсмoeлектромагнетизма часто используют модель широкополосных радиоизлучений. При этом возникает необходимость исследования спектральных характеристик канала распространения радиоволн [2]. Спектральные характеристики радиотрасс необходимы при решении задач возбуждения и распространения сейсмогенных электромагнитных эмиссий. Они позволяют получить оценки затухания широкополосных излучений для неоднородных, дискретно-слоистых и градиентных сред, необходимые для расчетов пространственно-частотных и импульсных характеристик природного фильтра - реальной геологической среды.

Рассмотрим задачу распространения земной волны над многокусочной импедансной радиотрассой, проходящей над зоной разлома. Пусть приемник сейсмoeлектромагнитных эмиссий расположен в середине разломной области. Источник излучений может иметь любой азимут относительно приемника и оси разлома. Трасса распространения электромагнитных волн может проходить: а) перпендикулярно оси разлома; б) под произвольным углом относительно оси разлома; в) вдоль оси разлома. Относительное положение зоны Френеля и оси разлома для трех указанных ситуаций показано на рис. 1. Численные расчеты в диапазоне 2-1000 кГц для модельной неоднородной трассы "влажная земля – кристаллический массив – разлом – кристаллический массив – влажная земля" длиной 300 км показывают ярко выраженный эффект "восстановления" поля в зоне разлома (рис. 2). При расчете функции ослабления W над гладкой многокусочной трассой использована формула Калинина-Фейнберга [3]. Частотная зависимость относительного увеличения поля над зоной разлома представлена на рис. 3. По оси ординат отложено отношение модулей функции ослабления на расстояниях 160 и 150 км $|W|_{160}/|W|_{150}$. При увеличении частоты от 2 до 1000 кГц отношение возрастает до 3.8. В области низких частот (на частотах 15-20 кГц) увеличение поля невелико, оно составляет всего 10-20%. При этом относительное увеличение поля очень слабо зависит от сопротивления зоны разлома. Вариации сопротивления подстилающей среды ρ в зоне разлома в пределах от 1 до 50 Ом·м практически не изменяют отношения модулей функции ослабления $|W|_{160}/|W|_{150}$ (рис. 3.) и ход спектральной характеристики канала распространения (рис. 4.). Так как зона разлома имеет высокую проводимость относительно окружающих пород, то имеет место эффект "восстановления" поля типа "суша-море" из-за подтекания энергии из верхней части области распространения в подошвенную область (диффузия вдоль волновых фронтов). Таким

образом, над разломом уровень электромагнитного поля будет повышаться из-за влияния хорошо проводящей “посадочной” площадки.

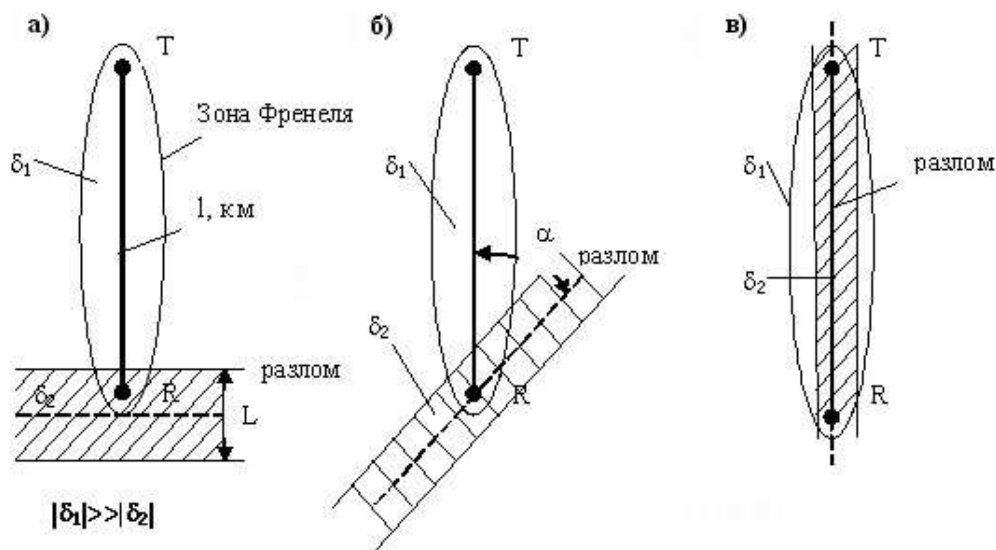


Рис. 1. Возможные типы двумерных импедансных радиотрасс, проходящих над зонами разломов. δ_1, δ_2 – поверхностные импедансы участка трассы, Т – передатчик, R – приемник, L – ширина разлома, l – длина радиотрассы.

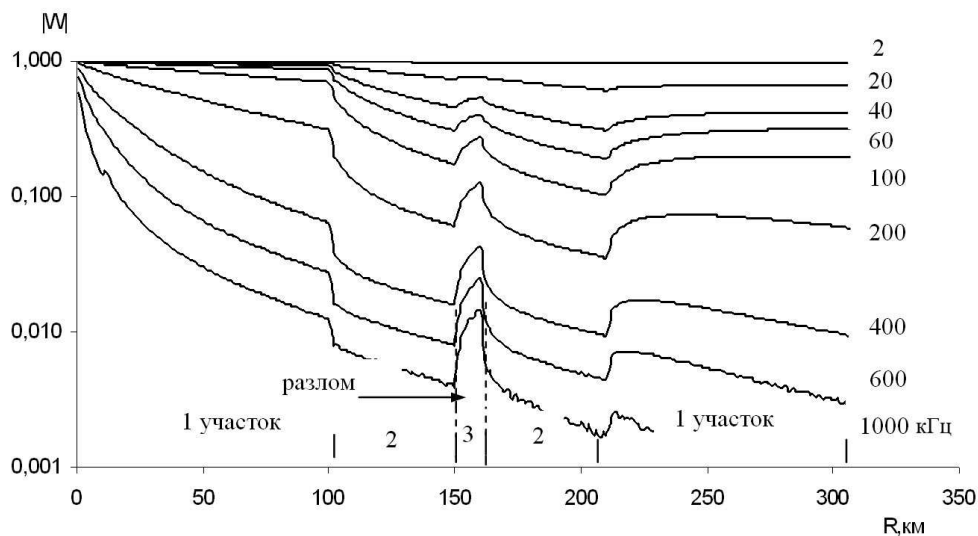


Рис. 2. Модуль функции ослабления в диапазоне 2-1000 кГц. Участок 1: $\rho = 100 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\epsilon=20$; участок 2: $\rho = 3000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\epsilon=10$; участок 3: $\rho = 1-50 \text{ Ом}\cdot\text{м}$, $\epsilon=20$.

Проведем численное обоснование радиофизического метода выделения зоны разлома шириной до 1 км по изменению электромагнитного поля на короткой (до 10 км) трассе распространения радиоволн. Для этого выполним численное моделирование распространения земной волны над двумя тектоническими разломами в диапазоне 1-20 МГц. Модель расчетной трассы распространения длиной 10 км представляет кристаллический массив с удельным электрическим сопротивлением $\rho = 1000 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и диэлектрической проницаемостью $\epsilon = 10$, разбитый двумя проводящими разломами с $\rho = 10 \text{ Ом}\cdot\text{м}$ и $\epsilon = 10$, шириной по 1 км. Первый разлом отстоит от излучателя на расстояние 5 км, второй – на расстояние 7 км (рис. 5).

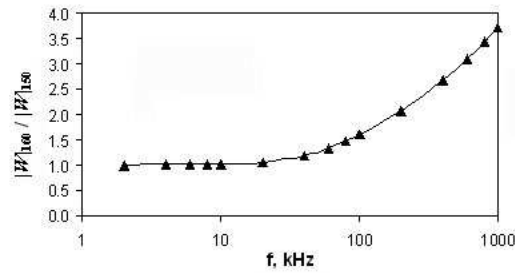


Рис. 3. Частотная зависимость относительного увеличения поля над зоной разлома.

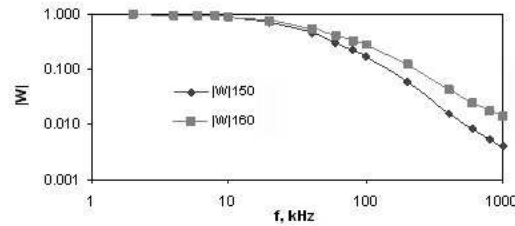


Рис. 4. Спектральные характеристики импедансного канала распространения в начале и в конце разлома ($R = 150$ км; 160 км).

Для расчетов использовался метод численного решения интегрального уравнения Хаффорда. В таблице 1 приведены поверхностные импедансы кристаллического массива и зоны разлома на частотах 1, 3, 10 и 20 МГц. Расчеты, выполненные на частотах 1, 3, 10 и 20 МГц для кусочно-однородной модельной трассы с двумя тектоническими разломами шириной 1 км, показали увеличение уровня поля над зоной разлома (рис. 5.). Эффект усиливается с ростом частоты. Так, на частоте 20 МГц поле в конце разломной зоны увеличилось относительно поля перед разломом в 2,4 раза. Как следует из графиков, выделение зоны разлома по изменению электромагнитного поля на короткой радиотрассе лучше всего проводить в диапазоне частот от 10 до 20 МГц. Из общего анализа данных следует, что оптимальный диапазон частот для выделения зоны разлома зависит от его ширины. Для разломов шириной от 100 до 1000 м лучше всего проводить измерения уровня поля на частотах 10-20 МГц.

Таблица 1. Поверхностный импеданс кристаллического массива и зоны разлома на различных частотах.

f , МГц	Кристаллические породы		Зона разлома	
	$ \delta $	ϕ_δ , град	$ \delta $	ϕ_δ , град
1	0.218	-29	0.023	-44.8
3	0.282	-14	0.04	-44.5
10	0.298	-4.5	0.075	-43.3
20	0.299	-2.3	0.105	-41.5

Таким образом, на основе геоэлектрической модели разлома предложен метод выделения зоны разлома шириной до 1 км по существенному увеличению уровня поля над разломом в диапазоне 10-20 МГц. На основе численного моделирования распространения земной волны над неоднородными импедансными трассами показано, что повышение

уровня поля над разломами обусловлено влиянием более проводящей “посадочной площадки”, а не генерацией электромагнитного излучения из зоны разлома. Предложено в зонах разломов проводить комплексные радиогеофизические исследования с целью полного физико-химического описания этих интереснейших природных объектов, которые в обычном сознании ассоциируются с “геопатогенными зонами”.

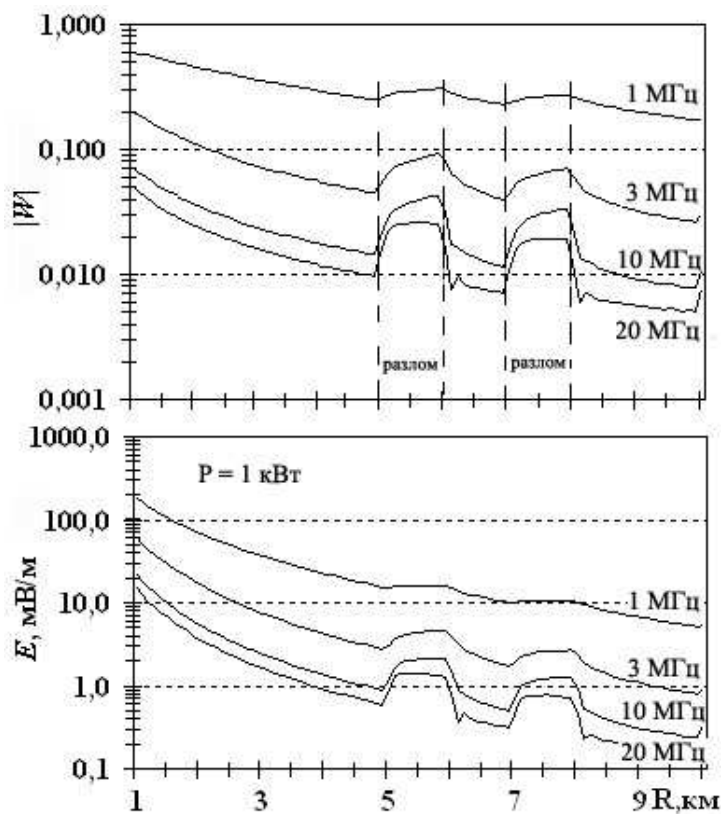


Рис. 5. Модуль функции ослабления и уровень поля земной волны на частотах 1, 3, 10 и 20 МГц над зонами разломов.

Кроме радиоволновых методов необходимо привлечь электро, магнито, сейсмо, гравитразведку, радиометрию, определение радона и другие доступные полевые геофизические методы. Привлечение повышенного внимания к зонам тектонических нарушений – одно из актуальных направлений исследований в области сейсмоэлектромагнетизма и электромагнитной экологии, имеющее важное практическое применение в жизни человеческой цивилизации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №14-19-01079) в Институте физического материаловедения СО РАН.

Литература

1. Башкуев Ю.Б. Электрические свойства природных слоистых сред. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 1996, 207 с.
2. Гюннинен Э.М., Макаров Г.И., Новиков В.В., Рыбачек С.Т. Распространение электромагнитных импульсов и их гармонических составляющих над земной поверхностью // Проблемы дифракции и распространения волн. – Л.: изд-во ЛГУ, - 1964, - Вып. 3, - с. 5-191.
3. Фейнберг Е.Л. Распространение радиоволн вдоль земной поверхности. - М.: Физматлит, 1999, 496 с.