

ОЦЕНКА РАЗМЕРОВ АКТИВНЫХ СТРУКТУР ПО ДИСКРЕТНЫМ СОСТАВЛЯЮЩИМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ В ГРУНТЕ

А.А. Спивак, В.А. Харламов

Приводится статистика геоэлектрических импульсов. Предложена модель-схема генерации электрических импульсов в грунте с равномерно распределенными в пространстве источниками. С использованием данных регистрации геоэлектрического потенциала выполнена оценка размеров активных блоков земной коры в зонах влияния Курайской (Горный Алтай) и Тункинской (Байкальская рифтовая зона) тектонических структур. Предложен подход к определению сопоставительных характеристик среды: постоянной времени эмиссии электрических сигналов (интенсивность релаксационных процессов) и амплитудного коэффициента поглощения, отражающего электрическую проводимость среды.

Введение

Как показывает регистрация геоэлектрического потенциала, основная особенность электрического поля в грунте связана с наличием кратковременных импульсов [Соловьев, Спивак, 2008]. Частотный состав и форма импульсов значительно отличаются от хорошо известных электрических сигналов в приземном слое атмосферы [Соловьев, Спивак, 2009]. Более детальный анализ свидетельствует о том, что значительная часть регистрируемых на приповерхностных участках земной коры электрических импульсов связана с механическими движениями в блочно-

иерархической среде [Соловьев, Спивак, 2009; Спивак, Харламов, 2008]. Это не противоречит представлениям, согласно которым импульсные электрические сигналы являются следствием кратковременных нарушений устоявшихся токовых систем либо разделения электрических зарядов. И то и другое в твердой среде неоднородного строения можно объяснить механическими процессами, такими, например, как трещинообразование и дифференциальные подвижки структурных блоков [Кочарян, Спивак, 2003; Лосева и др., 2009], которые вызывают преобразование вещества в зонах ослабления прочности среды.

Таким образом, можно полагать, что параметры электрических импульсов отражают режим геодинамических процессов в земной коре и, следовательно, содержат информацию о ее строении и напряженно-деформированном состоянии.

В настоящей работе на основе анализа статистик электрических импульсов определяется преимущественный размер активных блоков земной коры в районах Курайской и Тункинской тектонических структур (соответственно Горный Алтай и Байкальская рифтовая зона), а также выполнены сопоставительные оценки электрических свойств среды в указанных районах.

Схематизация поля источников электрических сигналов

С целью разработки подходов к описанию характеристик среды на основе данных геоэлектрических измерений будем учитывать, что значительная часть импульсных электрических сигналов сопровождается микросейсмическими импульсами (рис. 1). При этом, как это показано в работе [Соловьев, Спивак, 2009], можно считать, что генерация электрических и микросейсмических сигналов происходит в одном и том же источнике¹. Более того, одним из наиболее вероятных механиз-

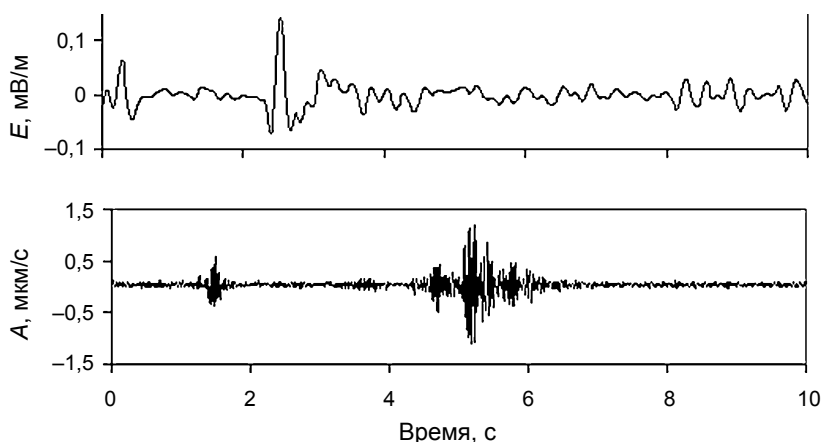


Рис. 1. Пример синхронной записи горизонтальной (восток-запад) компоненты микросейсмических колебаний и электрического поля в грунте.
(Курайский разлом; 16.07.2004 г., 05^h24'17" UT); A и E – соответственно амплитуда микросейсмического и электрического импульсов

¹ Основанием является тот факт, что расстояния до источника импульсов, определенные в одном случае локацией очага сейсмических импульсов сейсмическими методами, а в другом – по разности времен регистрации электрического и сейсмического сигналов – близки между собой.

мов генерации электрических импульсов в земной коре допустимо рассматривать дифференциальные подвижки блоков земной коры, когда источником электрических сигналов являются их активные грани [Лосева и др., 2010]. Как показывают расчеты, в этом случае параметры электрических импульсов хорошо согласуются с данными инструментальных наблюдений [Лосева и др., 2009].

В дальнейшем будем рассматривать локальные участки земной коры, в пределах которых свойства среды (например, линейные размеры структурных блоков) можно считать одинаковыми. В качестве источников электрических сигналов в грунте будем рассматривать активные грани релаксирующих блоков [Лосева и др., 2009; Соловьев, Спивак, 2009]. С учетом этого естественно принять, что источники электрических импульсов распределены равномерно по площади исследуемого участка земной коры. Более того, будем предполагать, что источники располагаются преимущественно у земной поверхности, где структурные блоки имеют большую «свободу деформирования». Вероятность генерации электрических сигналов и их параметры для всех источников одинаковы.

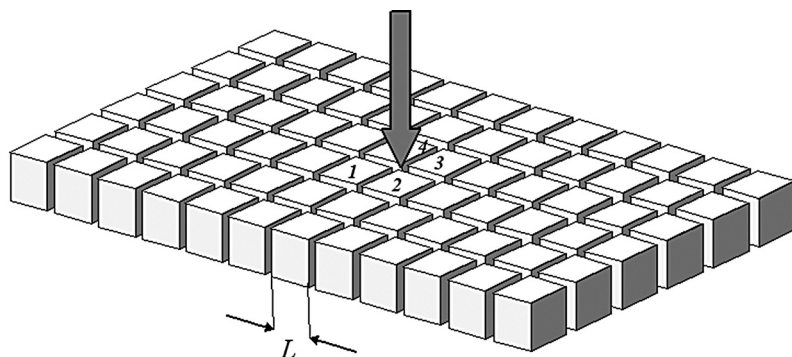


Рис. 2. Принятая схема расположения структурных блоков-источников электрических импульсов относительно точки регистрации (показана стрелкой).
1–4 – номера ближайших к точке наблюдения блоков ($i = 1, x_i = L$)

Для простоты будем считать, что источники-блоки кубической формы одинакового линейного размера L располагаются в один слой на горизонтальной плоскости¹. Принимая для простоты выкладок, что регистрация осуществляется в зоне контакта 4-х соседних блоков, как это показано на рис. 2, определяем количество источников, расположенных на расстоянии $x_i = iL$, ($i = 1, 2, 3, \dots, m$) от точки наблюдения, которое составляет величину

$$N_{0i} = 4 \left(\frac{2x_i}{L} - 1 \right), i = 1, 2, 3, \dots, m. \quad (1)$$

Здесь и далее примем, что в качестве активных выступают удаленные от точки регистрации вертикальные грани активных блоков.

Легко заметить, что количество источников, расположенных в i -том ряду, который ооконтуривает точку регистрации, определяется соответствующим членом

¹ Для наглядности демонстрации модели. Легко сделать обобщение на произвольное количество слоев.

a_i арифметической прогрессии 1-го порядка, причем $a_1 = 4$, а разность прогрессии $q = 8$.

Количество источников, активизирующихся за время наблюдения T_0

$$N_i = \alpha N_{0i}, \quad (2)$$

где α – параметр, характеризующий относительное количество активизированных источников. Причем, $\alpha < 1$ в случае, когда время наблюдений T_0 (либо длина выборки данных) не превышает характерного времени эмиссионного процесса τ , и $\alpha > 1$ соответствует случаю

$$T_0 > \tau.$$

В соответствии с предположением о равной вероятности генерации сигналов примем для определенности

$$\alpha = \frac{T_0}{\tau}. \quad (3)$$

Таким образом, с учетом (1)–(3) записываем окончательно:

$$N_i = \frac{4T_0}{\tau} \left\{ \frac{2x_i}{L} - 1 \right\}. \quad (4)$$

Здесь следует отметить, что написанное соотношение (4) при сделанных выше предположениях фактически характеризует опосредованно распределение всей совокупности зарегистрированных импульсов по амплитуде. Действительно, при идентичности сигналов, генерируемых всеми источниками, амплитуда регистрируемых сигналов определяется только расстоянием от источника до пункта регистрации x_i .

Оценка статистики электрических сигналов

Принимая в качестве источника электрических сигналов активную грань релаксирующего блока и, учитывая затухание импульса по мере распространения в среде, записываем для амплитуды импульса от источника на расстоянии x_i :

$$E_i(x) = E_0 e^{-kx_i} \quad (5)$$

где E_0 – амплитуда импульса в очаге, k – амплитудный коэффициент поглощения (причем, согласно выполненным ранее расчетам [Лосева и др., 2009; Лосева и др., 2010].

$$E_0 \sim AL^2 \quad (6)$$

где A – амплитудный параметр.

Для определения величины параметра A воспользуемся условием:

$$i = 1, x_1 = L: E_1 = E_{\max} \equiv E_m, \quad (7)$$

где E_m – максимально возможная амплитуда сигнала.

В итоге получаем выражение для $E(x)$ в виде:

$$E_i = E_m e^{-k(x_i - L)}. \quad (8)$$

Очевидно, что количество импульсов с амплитудой E_i в пункте регистрации составляет величину (4). Количество импульсов с амплитудой, превышающей значение E_i составляет

$$N = \frac{4T_0}{\tau} i^2 = \frac{4T_0}{\tau L^2} x_i^2. \quad (9)$$

Комбинируя (8) и (9) легко получить закон повторяемости электрических импульсов в виде распределения по амплитуде:

$$N \approx 4 \frac{T_0}{\tau} \left\{ 1 + \frac{1}{kL} \ln \left(\frac{E_m}{E} \right) \right\}^2, \quad (10)$$

где N – количество импульсов, зарегистрированных в пункте инструментальных наблюдений с амплитудой, превышающей E .

Оценка параметров распределения электрических импульсов по амплитуде

В соответствии с (10) в качестве параметров, характеризующих статистику регистрируемых импульсов, следует рассматривать величины k и L . Указанные параметры, как и значение дополнительного параметра τ , определяются по результатам сопоставления расчетных и полученных в процессе инструментальных наблюдений распределений $F(E)$.

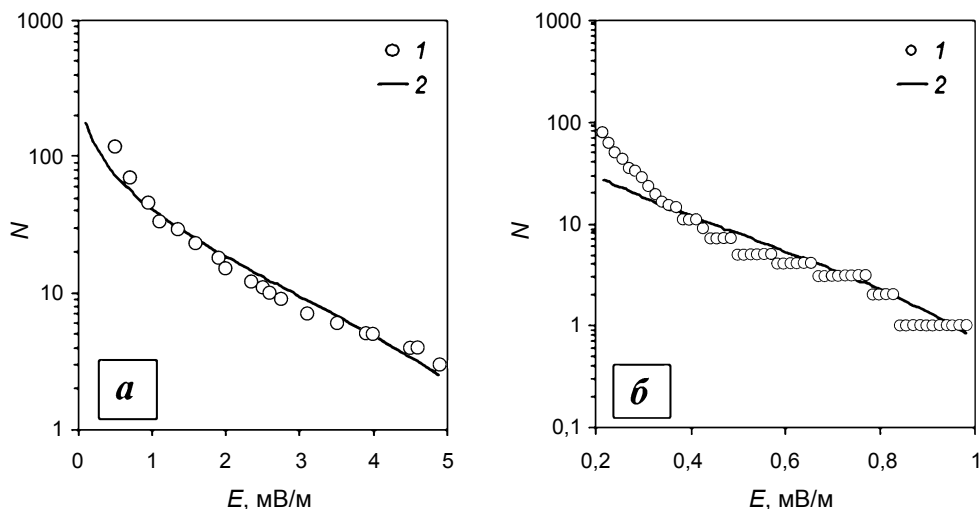


Рис. 3. График повторяемости электрических импульсов с амплитудой, превышающей E , в районах Курайской (а) и Тункинской (б) тектонических структур.
1 – данные инструментальных наблюдений, 2 – расчет по формуле (10)

На рис. 3 представлены совместно данные, полученные при регистрации электрических импульсов в грунте на двух участках земной коры (районы Курайской тектонической структуры (Горный Алтай, 2004 г.) [Спивак, Харламов, 2008] и Тункинского рифта (Байкальская рифтовая зона) [Иванченко и др., 2009] и результаты оценок с помощью зависимости (10). Данные рис. 3 свидетельствуют о том, что при соответствующем выборе параметров предложенное распределение (10) с достаточной для практики точностью описывает результаты инструментальных наблюдений. Значения параметров распределения (10), при которых наблюдается наилучшее совпадение расчетных и экспериментальных данных, приведены в таблице.

Таблица

Параметры распределения электрических импульсов в грунте по амплитуде; результаты оценок свойств среды

Параметры	Район регистрации	
	Курайский разлом	Тункинский рифт
L , м	~10	~50
k , 1/м	0,12	0,02
E_m , мВ/м	2,8	0,5
T/τ	2,7	2
τ , час	40	20

Здесь следует отметить, что использование для анализа распределения (10) вместо традиционно рассматриваемой функции распределения позволяет оценивать также и параметр τ , характеризующий интенсивность режима эмиссии электрических импульсов в грунте. Величина τ , как и значение максимальной амплитуды электрических импульсов, зарегистрированных за период наблюдений T_0 также приведены в таблице.

Выводы

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что весьма простая схематизация источников электрических сигналов в грунте, предложенная в настоящей работе, позволяет с достаточной точностью описывать распределение электрических импульсов по амплитуде и демонстрирует принципиальную возможность описания свойств локальных участков земной коры на основе регистрации электрических сигналов в земной коре. Одновременно с этим полученная зависимость (10) пригодна для оценок некоторых параметров, характеризующих среду на исследуемом участке земной коры. Действительно, используя результаты регистрации электрических импульсов, можно по их распределению по амплитуде, длительности регистрации (либо выборки) оценивать размер очага (линейный размер активных блоков, участвующих в релаксационном процессе), а также характерное время эмиссионного процесса τ , определяющего интенсивность релаксации (количества актов релаксации отдельных блоков, сопровождающихся электрическими эффектами).

Работа выполнена по программе 7 ОНЗ РАН «Внутреннее строение и физические поля Земли», финансовой поддержке РФФИ (грант 09-05-00614-а).

Литература

Иванченко Г.Н., Локтев Д.Н., Соловьев С.П. Комплексные исследования активности тектонических нарушений в зоне Тункинской рифтовой впадины // Проблемы взаимодействия геосфер: сб. научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2009. С. 116–123.

Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород. М.: Академкнига, 2003. 423 с.

Посева Т.В., Кузьмичева М.Ю., Спивак А.А. Модель генерации электрических и магнитных импульсов при стесненном повороте структурных блоков земной коры // Проблемы межгеосферных взаимодействий: сб. научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2009. С. 250–259.

Посева Т.В., Кузьмичева М.Ю., Спивак А.А. Электрические и магнитные сигналы при стесненных движениях блоков земной коры // Доклады академии наук. 2010. Т. 432. № 5. С. 685–688.

Соловьев С.П., Спивак А.А. Электромагнитные эффекты при релаксационных процессах в земной коре неоднородного строения // Доклады академии наук. 2007. Т. 417. № 6. С. 823–827.

Соловьев С.П., Спивак А.А. Генерация электромагнитных импульсов при релаксационных процессах в земной коре // Геофизика межгеосферных взаимодействий: сб. научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2008. С. 289–300.

Соловьев С.П., Спивак А.А. Электромагнитные сигналы в результате электрической поляризации при стесненном деформировании горных пород // Физика Земли. 2009. № 4. С. 76–84.

Спивак А.А., Харламов В.А. Статистические и корреляционные свойства микро-сейсмических и геоэлектрических импульсов в земной коре // Локальные и глобальные проявления воздействий на геосферы: сб. научных трудов ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2008. С. 236–245.