

К ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ЭФФЕКТАМ В ЗЕМНОЙ КОРЕ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ТУНКИНСКОГО РАЗЛОМА

А.А. Спивак, С.П. Соловьев, В.А. Харламов

Приводятся результаты инструментальных наблюдений за электромагнитными эффектами в земной коре в зоне Тункинского разлома (Байкальская рифтовая зона). Показано, что характерной особенностью электрического поля в грунте является наличие дискретной составляющей в виде импульсных сигналов разной амплитуды. При этом значительное количество электрических сигналов сопровождается сейсмическими импульсами. Результаты синхронной регистрации микросейсмических и электрических импульсов на малых расстояниях от источника позволили установить, что основным механическим параметром, определяющим амплитуду электрического сигнала, является ускорение частиц среды в источнике.

Введение

Наряду с механическими движениями и преобразованием вещества геодинамические процессы, постоянно протекающие в земной коре, сопровождаются электромагнитными эффектами [Соболев, Демин, 1980; Назарный, Комаров, 2001; Пархоменко, 1968 и др.]. Исследование указанных эффектов представляет значительный интерес не только с точки зрения установления механизмов и понимания закономерностей формирования режимов электромеханических процессов в земной коре, но также для разработки новых подходов и методов прогнозирования и контроля поведения горных массивов, в том числе при мониторинге процессов, связанных с подготовкой землетрясений [Соболев, Демин, 1980; Новик, Ершов, 2001].

Заметной особенностью электрического поля в земной коре является наличие коротких импульсов разной амплитуды [Адушкин и др., 2006; Соловьев, Спивак, 2006; Спивак, Харламов, 2008]. При этом основной интерес для исследования представляют импульсы, характеристики которых (форма, длительность и, в первую очередь, эффективная частота) отличаются от атмосферных импульсов и известных техногенных помех.

Количество таких импульсов зависит от конкретного участка земной коры. Если для тектонически спокойных участков земной коры количество регистрируемых импульсов составляет 1–30 в час, то в зонах активных тектонических структур (разломов) количество таких импульсов исчисляется сотнями и более в час [Спивак, Харламов, 2008]. Разломные зоны, в которых поведение вещества характеризуется повышенной подвижностью (а, следовательно, более благоприятными условиями для разделения электрических зарядов и нарушения токовых систем) являются концентраторами очагов электрических эффектов [Соловьев, Спивак, 2009; Спивак, 2010].

В настоящей работе представлены некоторые результаты синхронной регистрации электрического поля в земной коре и микросейсмических колебаний, выполненной в зоне влияния крупной тектонической структуры – Тункинского разлома (Байкальская рифтовая зона), отличающегося современной активностью [Иванченко и др., 2009].

Проведение синхронной регистрации микросейсмических колебаний и электрического поля в грунте

Схема участка исследований приведена на рис. 1. Измерения выполнялись в трех стационарно оборудованных пунктах: TRY (период регистрации – 16–23 августа 2009 г.), ARH (12–14 августа 2009 г.) и SBG (6–27 июля 2010 г.). При этом пункты ARH и SBG располагались в непосредственной близости от Тункинского разлома, окаймляющего с севера Тункинскую систему рифтовых впадин, на одном из срединных участков которых располагался пункт TRY.

Краткая характеристика пунктов регистрации. Пункт наблюдений «Субарга» (SBG) располагался у подножия Тункинских гольцов в каньеобразном ущелье (абсолютная отметка 1200 м). Измерения выполнялись в зоне бортового разлома, отделяющего Тункинскую межгорную рифтовую впадину от антиклинали Тункинский гольцов. Пункт регистрации располагался в дизъюнктивном узле на пересечении Тункинского сброса с поперечным разломом более высокого порядка. Основной Тункинский разлом сбросо-сдвиговой кинематики характеризуется

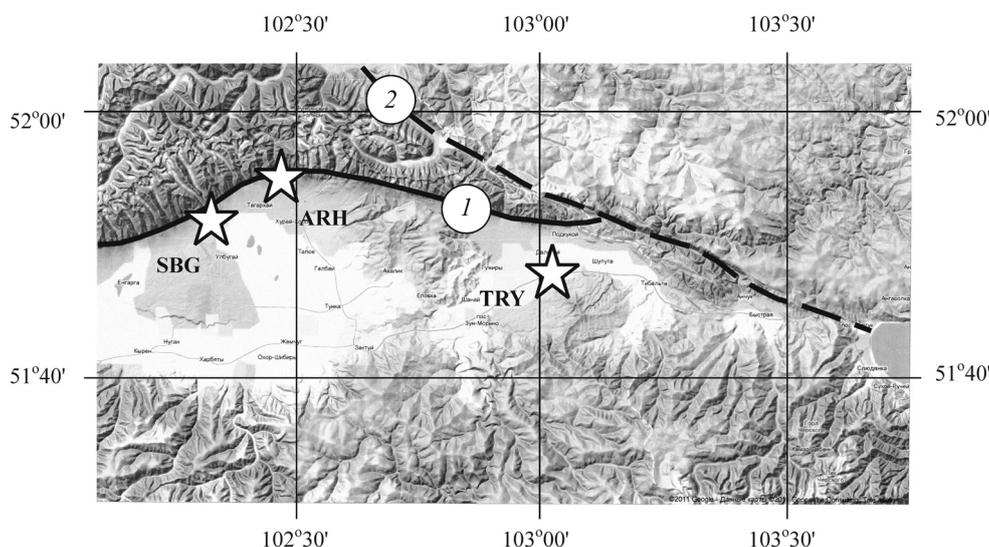


Рис. 1. Схема участка инструментальных наблюдений.

Звездочки – пункты постоянной регистрации: Субарга (SBG), Аршан (ARH), Торы (TRY) основные глубинные разломы: 1 – Тункинский, 2 – Главный Саянский.

шириной около 500 м. Горный массив в районе пункта регистрации представлен архей-нижнепротерозойскими породами безьянской свиты (гнейсы, кристаллические сланцы с прослойками мраморов).

Сходным образом характеризуется район пункта «Аршан» (ARH), расположенный в непосредственной близости от Тункинской разломной зоны.

Пункт «Торы» (TRY) располагался в пределах Торской межгорной впадины в долине р. Иркут (абсолютная отметка 680 м). Межгорная кайнозойская впадина выполнена мощными неоген-четвертичными вулканогенно-осадочными породами, залегающими на докембрийском основании. Мощность кайнозойских отложений достигает 1800–2000 м. Неогеновые отложения мощностью около 1500 м представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами, песками и глинами. Четвертичные отложения в основном ледникового генезиса представлены валунно-галечными, песчаными и глинистыми толщами мощностью до 300–500 м.

Метод регистрации. Измерения геоэлектрического потенциала выполнялись по пассивной методике, для чего в грунт на глубину 0,5–1 м на расстоянии 20–50 м друг от друга помещались три свинцовых электрода площадью около 0,25 м². Регистрация выполнялась в двух направлениях: север-юг и восток-запад. По результатам измерений геопотенциала определялась напряженность электрического поля в грунте (горизонтальная составляющая).

Типичная форма регистрируемых электрических сигналов видна из рис. 2. Количество электрических импульсов зависит от конкретного участка земной коры.

В настоящей работе интенсивность генерации электрических импульсов (1/час) составляла в среднем около 100 в пункте SBG, около 50 в пункте ARH и около 20 в пункте TRY.

Измерение микросейсмических колебаний выполнялась с использованием сейсмических преобразователей СМ-ЗКВ-Э, работающих в режиме велосиметра. Регистрировались фоновые колебания и микросейсмические импульсы релаксационного

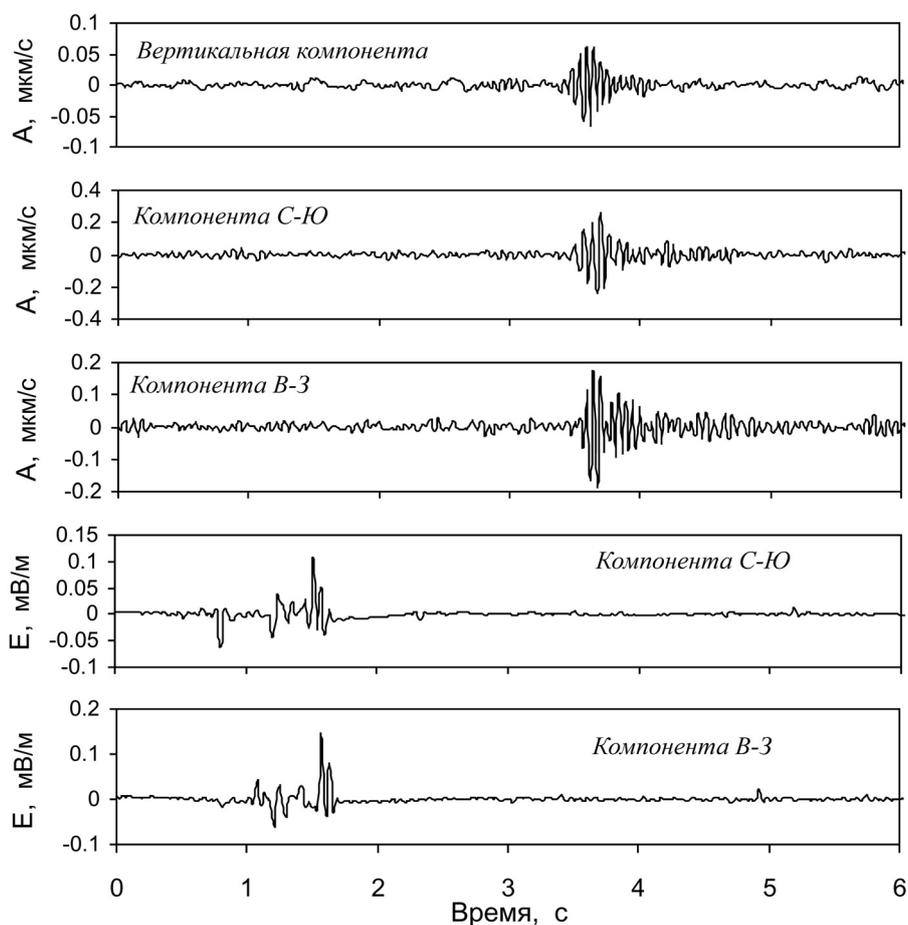


Рис. 2. Пример синхронной записи микросейсмического фона и электрического поля в грунте (зона Тункинского разлома); амплитуды: A – микросейсмических колебаний, E – электрического сигнала

типа [Спивак, Кишкина, 2004]. Сбор данных выполнялся с помощью многоканальных регистраторов REFTEK-130 и ZET-220.

В связи с большими потоками данных обработка и первичный анализ информации выполнялся в автоматизированном режиме с помощью вычислительных средств программного пакета MATLAB.

Анализ данных инструментальных наблюдений показывает, что в значительном количестве случаев электрические и сейсмические импульсы сопутствуют друг другу (рис. 2), причем, электрические импульсы опережают по времени вступление микросейсмических импульсов. Сходство статистик амплитудных характеристик обеих групп импульсов, а также тот факт, что расстояния до источника, вычисленные по сейсмике (локация очага) и по времени запаздывания электрического сигнала относительно сейсмического, близки между собой [Спивак, Харламов, 2008; Соловьев, Спивак, 2009] свидетельствуют о единстве сейсмического и электрического источников. А это, в свою очередь, позволяет определять координаты очагов электрических импульсов по результатам сейсмической регистрации.

При этом важно отметить, что в случае комплексирования сейсмических и электрических измерений для определения эпицентров очагов источников достаточно выполнять сейсмическую регистрацию в одной трехкомпонентной точке (выносные разнесенные в пространстве пункты регистрации в данном случае не требуются, поскольку координаты источника легко оцениваются по азимуту распространения сейсмических импульсов, который определяется по результатам поляризационной фильтрации и расстоянию до источника, определяемое по времени запаздывания сейсмического сигнала относительно электрического).

Результаты обработки данных

В результате обработки цифровых рядов данных определялись: характерный линейный размер источника L , эпицентральное расстояние от источника до пункта регистрации R , амплитуда колебаний в сейсмическом сигнале в очаге v_0 (модуль вектора колебаний) и амплитуда электрического сигнала (модуль вектора) в очаге E_0 . При этом привлекались полученные ранее зависимости [Кочарян, Спивак, 2003; Спивак, Харламов, 2010; Лосева и др., 2010]:

$$L = \frac{T}{\pi} \sqrt{\frac{10^{-2} G}{\rho}} \text{ м}; \quad v = v_0 \left\{ \frac{R}{L} \right\}^{-1,25}; \quad E = E_0 \left\{ \frac{R}{L} \right\}^{-3,5}, \quad (1)$$

где T – характерный (видимый) период сейсмического сигнала в c , G и ρ – соответственно модуль упругости (Па) и плотность горной породы ($\text{кг}/\text{м}^3$), v и E – соответственно максимальные модули амплитуды скорости колебаний в сейсмическом сигнале и амплитуды электрического сигнала, зарегистрированных на расстоянии R от источника [Кочарян, Спивак, 2003; Лосева и др., 2010].

Геологические особенности пунктов регистрации влияют на пространственное распределение источников сигналов. Это хорошо видно из рис. 3, на котором представлены источники сигналов, зарегистрированные в SBG и ARH за одни сутки

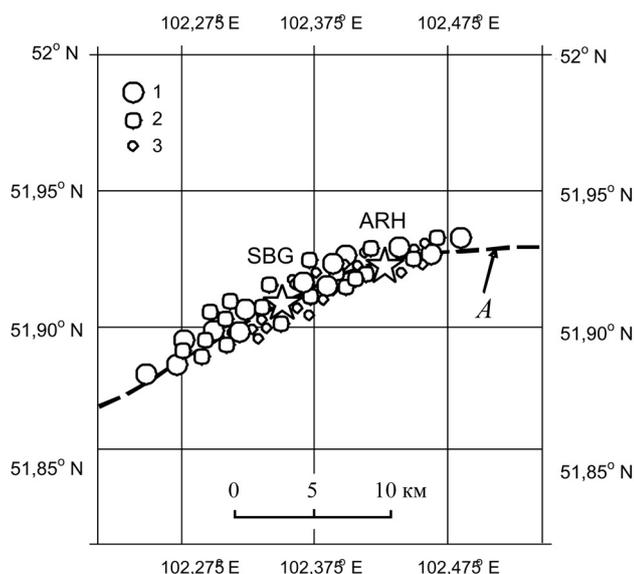
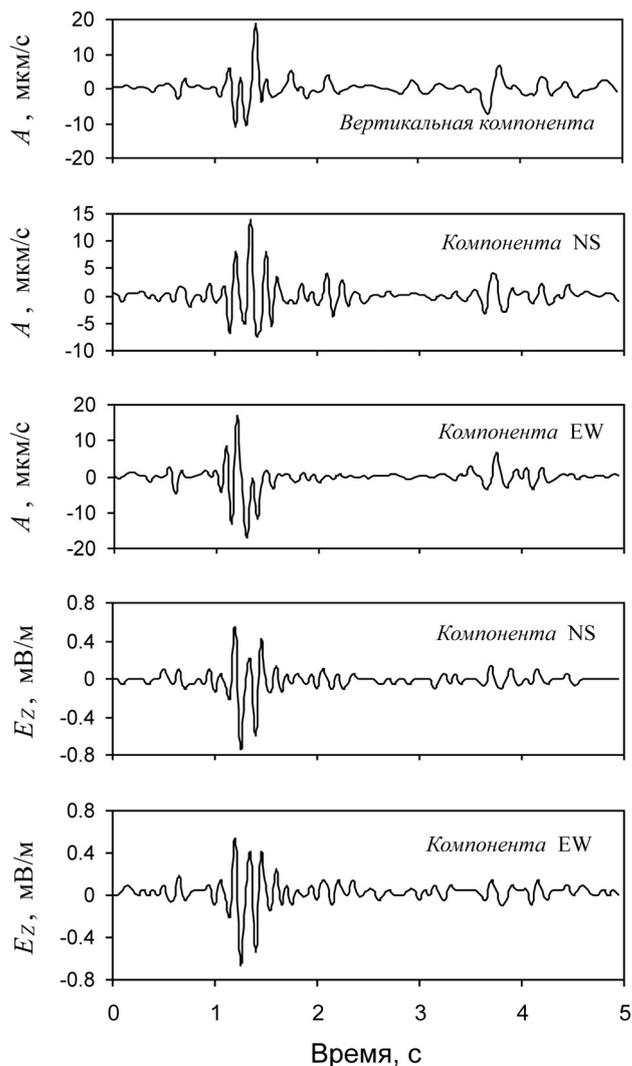


Рис. 3. Пространственное распределение очагов электрических сигналов с амплитудой в пункте регистрации, превышающей фоновую в 3(3), 5–7 (2) и более чем в 7 (1) раз. *A* – положение Тункинского разлома.

(выборки содержат наиболее мощные сигналы с амплитудой, не менее чем в 3 раза превышающей фоновые). В отличие от практически равномерно-азимутального распределения очагов сигналов, зарегистрированных в пункте TRY, расположенном на осадочном чехле, представленное на рис. 3 отличается хорошо выраженной вытянутостью вдоль Тункинского разлома. При этом углы выхода сигналов отличаются: в пункте TRY среднее значение угла выхода сигнала составляет величину около 70° , что существенно превышает значения угла выхода для пунктов SBG и ARH ($\sim 18^\circ$).

Представленные на рис. 3 данные требуют проведения более детального анализа, который и будет выполнен в дальнейшем. Однако в первом приближении можно констатировать, что протяженная структура разломной зоны в районе пунктов регистрации SBR и ARH является, что неудивительно, концентратором активных блоков, в то время как источники сигналов в районе пункта TRY распределены, по-видимому, равномерно в пространстве с концентрацией на некоторой заглубленной границе раздела геологических формаций.

Рис. 4. Пример синхронной записи сейсмического и электрического сигналов.



Расположение пункта регистрации SBR непосредственно в зоне Тункинско-го разлома, где сосредоточены основные источники микросейсмических и электрических импульсов, позволяет определить некоторые свойства источника. Для этого в настоящей работе был выполнен совместный анализ электрических и микросейсмических импульсов, когда сейсмический и электрический сигналы регистрируются одновременно (рис. 4)¹. В этом случае можно считать, что источник располагается в непосредственной близости от пункта регистрации и, тогда параметры регистрируемого сейсмического сигнала (смещение u , скорость колебаний v и ускорение частиц среды a) совпадают с соответствующими параметрами механического источника.

Наибольший интерес представляет рассмотрение связи между амплитудами электрических импульсов E , регистрируемых в грунте, и параметрами сейсмических сигналов u (смещение), v (скорость колебаний) и a (ускорение). В качестве примера на рис. 5 приведены соответствующие зависимости, полученные для одного из периодов регистрации длительностью 6 час.

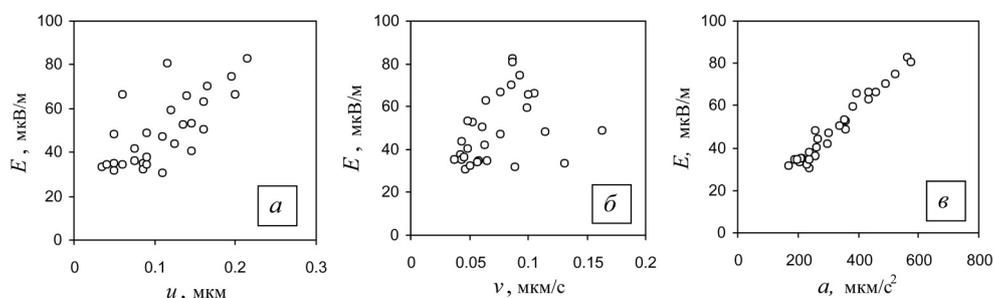


Рис. 5. Корреляционные зависимости между параметрами сейсмического сигнала релаксационного типа: смещением u (а), скоростью колебаний v (б) и ускорением a (в) и амплитудой электрических импульсов в грунте E .

Данные рис. 5 показывают, что наилучшая корреляция наблюдается между амплитудой электрического импульса и ускорением в сейсмическом сигнале. Это может служить одним из доказательств того, что основным механическим параметром, определяющим, а, следовательно, вызывающем электрический эффект является ускорение.

Заключение

Результаты выполненных исследований демонстрируют сложные взаимодействия между геофизическими полями разной природы, что свидетельствует о сложном характере геодинамических процессов, протекающих в земной коре. При этом следует отметить, что одной из наиболее интересных особенностей указанных процессов является возможность одновременной генерации геофизических полей разной природы в едином источнике.

¹ В данном случае рисунок демонстрирует существенное отличие между формами электрического и сейсмического импульсов, что может рассматриваться как дополнительное указание на отсутствие сейсмической помехи при геоэлектрической регистрации.

Совместный анализ параметров механического движения и генерируемого электрического сигнала при релаксационной подвижке активного блока земной коры показывает, что в качестве одного из основных кинематических параметров, ответственных за генерацию электрического импульса, следует рассматривать ускорение частиц среды.

Работа выполнена по Программе 7 ОНЗ РАН «Внутреннее строение и физические поля Земли. Динамика взаимодействующих геосфер» и при финансовой поддержке РФФИ (грант 09-05-00614-а).

Литература

Адушкин В.В., Сивак А.А., Кишкина С.Б., Локтев Д.Н., Соловьев С.П. Динамические процессы в системе взаимодействующих геосфер на границе земная кора-атмосфера // Физика Земли. 2006. № 7. С. 34–51.

Иванченко Г.Н., Локтев Д.Н., Соловьев С.П. Комплексные исследования тектонических нарушений в зоне Тункинской рифтовой впадины // Проблемы взаимодействия геосфер: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2009. С. 123–129.

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

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

Назарный С.А., Комаров В.А. Вызванная сейсмоэлектрическая поляризация. СПб.: Изд-во С-Петербур. ун-та, 2001. 144 с.

Новик О.Б., Ершов С.В. Электромагнитные и тепловые сигналы из недр Земли (физика предвестников землетрясений). М.: Круглый год, 2001. 288 с.

Пархоменко Э.И. Явления электризации в горных породах. М.: Наука, 1968. 255 с.

Соболев Г.А., Демин В.М. Механоэлектрические явления в Земле. М.: Наука, 1980. 215 с.

Соловьев С.П., Сивак А.А. Электромагнитные эффекты как следствие неоднородности строения и дифференциальных движений в земной коре // Динамические процессы во взаимодействующих геосферах: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2006. С. 196–204.

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

Сивак А.А., Кишкина С.Б. Исследование микросейсмического фона с целью определения активных тектонических структур и геодинамических характеристик среды // Физика Земли. 2004. № 7. С. 35–49.

Сивак А.А., Харламов В.А. Статистические и корреляционные свойства микросейсмических и геоэлектрических импульсов в земной коре // Локальные и глобальные проявления воздействий на геосферы: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2008. С. 236–245.

Сивак А.А. Особенности геофизических полей в разломных зонах // Физика земли. 2010. № 4. С. 55–66.

Сивак А.А., Харламов В.А. Оценка размеров активных структур по дискретным составляющим электрического поля в грунте // Динамические процессы в геосферах: сб. научн. тр. ИДГ РАН. М.: ГЕОС, 2010. С. 238–244.