

СЕЙСМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭФФЕКТЫ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ НА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ «МИХНЕВО» ИДГ РАН

Д.Н. Локтев, А.А. Спивак, С.Г. Волосов

Приведены первые результаты инструментальных наблюдений за сейсмическими сигналами и сопутствующими им вариациями вертикальной компонентой напряженности электрического поля. Наблюдения выполнены на геофизической обсерватории «Михнево» ИДГ РАН. Показано, что в периоды сейсмических возмущений наблюдаются вариации напряженности электрического поля на земной поверхности. Получена качественная зависимость между максимальными среднеквадратичными амплитудами вариаций электрического поля и амплитудой колебаний в сейсмическом сигнале.

Введение

Несмотря на то, что со времени обнаружения сейсмоэлектрического эффекта прошло уже почти 80 лет¹ интерес к нему не падает и в настоящее время [Okubo, et al., 2006]. Это связано со все возрастающей необходимостью разработки новых, более совершенных методов и способов описания строения земной коры и диагностики ее геодинамического состояния. Действительно, интенсивность преобразования энергии колебаний среды в энергию электрического поля во многом определяется свойствами среды и характеристиками ее напряженно-деформированного состояния [Мигунов, 1984]. Если это так, то по вариациям отклика среды на сейсмическое воздействие в виде генерации электрических сигналов можно говорить об изменении ее свойств, действующих в среде напряжений и характера деформаций [Мигунов, 1984; Mikhailov et al., 1997; Zhu, Toksoz, 2005]. Особое значение это имеет при определении степени современной активности разломных зон либо выделения их активных участков (в большей степени эффект проявляется на неоднородностях среды [Соловьев, Спивак, 2006; 2009; Thompson, Gist, 1993]).

В настоящей работе выполнен сопоставительный анализ амплитудных вариаций поля сейсмических колебаний (волны землетрясений, местных событий разного типа и т.д.) и синхронных с ними вариаций электрического поля.

Используемые данные

Анализировались результаты регистрации сейсмических колебаний и вертикальной компоненты напряженности электрического поля E на земной поверхности, вы-

¹ Р. Томсон впервые описал возникновение вариаций электрического поля в горных породах под действием упругих колебаний в 1936 г., который он назвал сейсмоэлектрическим эффектом (эффект J) [Thompson, 1936].

полненной в условиях геофизической обсерватории (ГФО) «Михнево» ИДГ РАН [Адушкин, Спивак, 2014]. Сейсмическая регистрация проводилась в диапазоне частот 0,0083–40 Гц с помощью широкополосных сейсмометров STS-2, установленных на постаменте в штольне глубиной ~20 м (в качестве регистраторов использовались программируемые системы REFTEK 130). Регистрация напряженности электрического поля (вертикальная компонента E) выполняется в диапазоне частот 0–20 Гц с помощью электростатического флюксметра ИНЭП, размещенного на специально оборудованной площадке на высоте ~3 м над уровнем земли. Описание измерительных средств и результаты регистрации представлены на сайте ИДГ РАН <http://idg-comp.chph.ras.ru/~mikhnevo/>.

Особенности площадки ГФО МНУ

ГФО «Михнево» расположена на значительном расстоянии (~85 км) от г. Москвы, что исключает влияние мегаполиса на физические поля. Отсутствие в ближайшей окрестности ГФО «Михнево» источников электромагнитных помех благоприятствует выполнению инструментальных наблюдений. Основной особенностью места расположения ГФО «Михнево» является наличие Нелидово-Рязанской шовной зоны к югу обсерватории на расстоянии ~10 км. Указанный водонасыщенный¹ глубинный разлом субширотного простирания может существенно влиять на интенсивность преобразования энергии между исследуемыми физическими полями в сторону увеличения. Можно предполагать, что это расширяет возможности регистрации и анализа сейсмоэлектрического эффекта.

Совместные вариации электрического и сейсмического полей

Процесс разделения электрических зарядов и, как следствие, генерации электрического поля связан с работой механоэлектрических преобразователей, возникающих в твердой среде, в частности, в земной коре. Впервые электрические эффекты при механических действиях на твердую среду описаны Дьюлаи и Хартли в работе [Gyulai, Hartly, 1928], в которой рассматривается изменение электрофизических свойств (в частности, электрической проводимости) некоторых материалов при их пластическом деформировании (эффект Дьюлаи-Хартли). В дальнейшем был предложен ряд механизмов преобразования механической энергии в электрическую, связанных с разделением электрических зарядов при движении дислокаций и в результате пиннинг/депиннинг эффектов, а также деформировании композитных сред [Соболев, Демин, 1980].

Значительный вклад в исследование сейсмоэлектрического эффекта был сделан в работах [Иванов, 1940; Френкель, 1944], в которых в качестве механизма был предложен и рассмотрен эффект смещения электрических зарядов в диффузной области двойного слоя, существующего в горных породах на границе твердых минералов и внутрипоровой влаги. Возможны и другие механизмы преобразования механической энергии в энергию электрического поля при деформировании и разрушении горных пород (сейсмоэлектрический эффект 1-го рода), в основе

¹ Наиболее близкий к ГФО МНУ участок указанной трансрегиональной шовной зоны проходит по руслу р. Оки [Горбунова и др., 2002].

которых лежат пьезо- и трибоэлектрические явления, механохимические процессы на границе зерен и т.д. Несмотря на достаточно широкий перечень литературы по рассматриваемой теме необходимо отметить недостаточность данных, связанных с количественными соотношениями между параметрами сейсмического воздействия и вызванного электрического эффекта, что и явилось основной целью настоящей работы.

Анализ результатов наблюдений, выполненных на ГФО «Михнево» показывает, что прохождение сейсмических волн, вызванных землетрясениями и другими сейсмическими событиями, например, массовыми карьерными взрывами, в большинстве случаев сопровождается вариациями напряженности электрического поля на земной поверхности (исключением являются периоды сильных возмущений электрического поля источниками несейсмического происхождения в виде атмосфер-

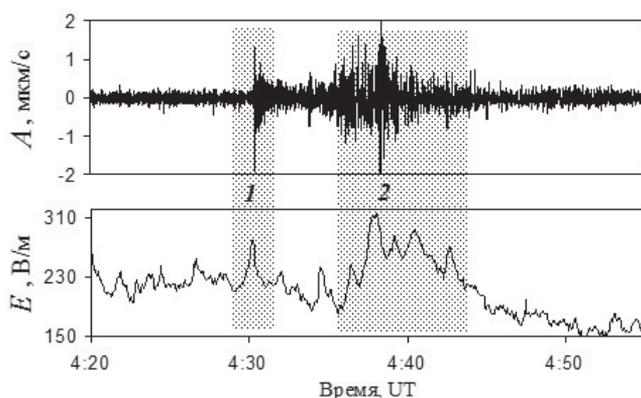


Рис. 1. Пример вариаций вертикальной компоненты напряженности электрического поля E (нижняя панель) в результате сейсмического возмущения (верхняя панель), вызванного землетрясением на архипелаге Додеканес (Греция) с магнитудой 5,0 (1, 2) на ГФО «Михнево» (22.08.2014 г.)

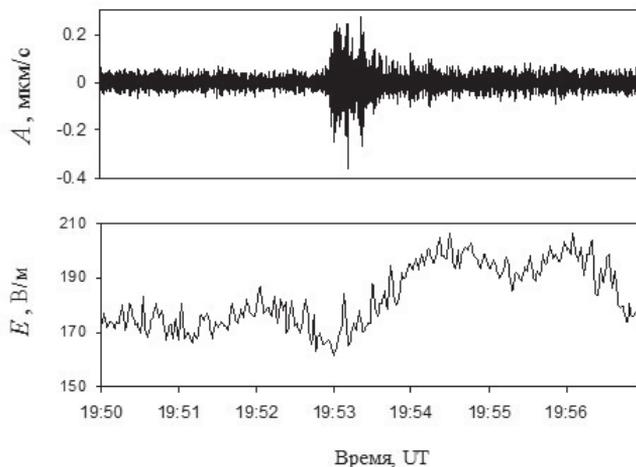


Рис. 2. Пример вызванных вариаций вертикальной компоненты напряженности электрического поля E (нижняя панель) с запаздыванием относительно сейсмического возмущения (верхняя панель) от землетрясения на Андаманский островах (29.11.2014 г.)

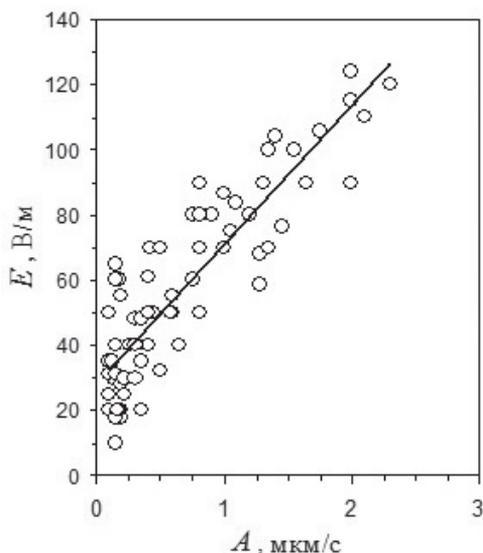


Рис. 3. Зависимость между амплитудами сейсмического импульса A и вызванного электрического сигнала E на ГФО «Михнево» ИДГ РАН

ных явлений: холодные фронты с грозowymi проявлениями или низкой плотной облачностью, сильный ветер, формирующий аэроэлектрические структуры и т.д., когда сейсмоэлектрический эффект трудно выделяется). При этом наведенные вариации электрического поля могут возникать либо практически синхронно с сейсмическими возмущениями, либо с запаздыванием (см. примеры на рисунках 1 и 2). Во втором случае максимум наведенных вариаций электрического поля наблюдается через некоторое время после вступления сейсмического сигнала (запаздывание может достигать нескольких минут) при том, что начало вариаций E совпадает с сейсмическим воздействием.

Особый интерес представляет связь между интенсивностью сейсмического воздействия и амплитудой наведенных вариаций электрического поля. Для получения количественной зависимости между амплитудными характеристиками сейсмического возмущения и вызванных вариаций электрического поля использовались записи, полученные в отсутствие сильных электромагнитных возмущений. При этом на данном этапе исследований в качестве параметра, характеризующего интенсивность сейсмического воздействия, была выбрана максимальная амплитуда колебаний в сейсмическом сигнале A . На рис. 3 приведена зависимость между амплитудами сейсмических сигналов A и вызванных вариаций вертикальной компоненты напряженности электрического поля E , полученная в результате анализа данных инструментальных наблюдений, выполненных в 2014 г. Принимая во внимание данные рис. 3, можно полагать, что при увеличении амплитуды сейсмического сигнала амплитуда вариаций электрического поля на земной поверхности растет с амплитудой сейсмического возмущения A .

Заключение

Приведенные данные подтверждают наличие сейсмоэлектрического эффекта в периоды прохождения сейсмических волн, который хорошо регистрируется в отсутствие сильных возмущений, вызванных другими источниками (прохождение

атмосферных фронтов, грозовые явления, сильный ветер и т.д.). При этом можно считать, что интенсивность преобразования механической энергии сейсмических волн в энергию электрического поля определяется амплитудой сейсмического сигнала.

Впервые получена качественная зависимость между амплитудами сейсмического и вызванного электрического сигналов в конкретных условиях. Следует ожидать подобные эффекты и на других участках земной коры, в том числе в сейсмически спокойных районах Восточно-Европейской платформы. Направление дальнейших исследований должно быть связано с определением зависимости сейсмоэлектрического эффекта от характеристик сейсмического сигнала (тип, спектральные характеристики волн и т.д.), а также с установлением конкретных механизмов преобразования энергии механических колебаний в неоднородной среде в энергию электрического поля.

Работа выполнена при поддержке Программы IV.8.7 ОНЗ РАН «Интеллектуальный анализ геофизических данных, геоинформатика и математическая геофизика» и РФФИ (грант 14-05-00073-а).

Литература

Адушкин В.В., Спивак А.А. Физические поля в приповерхностной геофизике. М.: ГЕОС, 2014. 360 с.

Горбунова Э.М., Иванченко Г.Н., Спивак А.А. Выбор объекта для проведения комплексных исследований геодинамических и геофизических аномалий в зонах влияния тектонических структур // Нестационарные процессы в верхних и нижних геосферах Земли. М.: ИДГ РАН, 2002. С. 114–129.

Иванов А.Г. Сейсмоэлектрический эффект второго рода // Известия АН СССР. Сер. географ. и геофиз. 1940. № 5. С. 599–626.

Мигунов Н.И. Об использовании сейсмоэлектрических явлений для изучения напряженного состояния насыщенных горных пород // Физика Земли. 1984. № 9. С. 20–28.

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

Соловьев С.П., Спивак А.А. Электромагнитные эффекты как следствие неоднородного строения и дифференциальных движений в земной коре // Динамические процессы во взаимодействующих геосферах. М.: ГЕОС, 2006. С. 196–204.

Соловьев С.П., Спивак А.А. Электромагнитные сигналы в результате электрической поляризации при стесненном деформировании горных пород // Физика Земли. 2009. № 2. С. 34–48.

Френкель Я.И. К теории сейсмических и сейсмоэлектрических явлений во влажной почве // Известия АН СССР. Сер. геофиз. и геофиз. 1944. Т. 8. № 4. С. 133–150.

Mikhailov O.V., Haartsen M.V., Toksoz M.N. Electrostatic investigation of the shallow subsurface: field measurements and numerical modeling // Geophysics. 1997. V. 62. P. 97–105.

Okubo K., Sato Sh., Ishii T., Takeushi N. Observation of atmospheric electricity variation signal during underground seismic wave propagation // Transactions on electrical and electronic engineering. 2006. Vol. 1. Issue 2. P. 182–187.

Thompson R.R. The seismic-electric effect // Geophysics. 1936. Vol. 1. No. 3. P. 48–51.

Thompson A.H., Gist G.A. Geophysical applications of electrokinetic conversion // The leading Edge. 1993. V. 12. P. 1160–1173.

Zhu Z., Toksoz M.N. Seismoelectric and seismomagnetic measurements in fractured borehole models // Geophysics. 2005. V. 70. F45–F51.