

Первые результаты наблюдения атмосферного электрического поля с помощью электрометра CS110 на обсерватории "Паратунка", Камчатка

БАБАХАНОВ И. Ю., БУТИН С. В., СМИРНОВ С. Э., ХОМУТОВ С. Ю.

Институт космических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
с. Паратунка, Камчатский край, Россия
e-mail: Khomutov@ikir.ru

Атмосферное электрическое поле (АЭП) является объектом интенсивных научных исследований. Экспериментальную основу для таких исследований обеспечивают мониторинговые измерения АЭП на обсерваториях, а также специальные наблюдения на временных станциях. Однако, в настоящее время не существует как стандартов для этих измерений, так и международных или национальных центров по сбору данных. Поэтому достоверность полученных результатов на обсерваториях обычно обеспечивается штатными процедурами калибровки и сравнением разнотипных приборов.

На Геофизической обсерватории "Паратунка" ИКИР ДВО РАН регулярные наблюдения за АЭП ведутся с 1996 г. [1] В качестве измерителя используется широко распространенный датчик напряженности электрического поля (электрометр, флюксметр) "Поле-2" [2], обеспечивающий получение достоверных и качественных результатов, в т.ч. благодаря имеющейся самокалибровке и эпизодическим сравнениям с другими электрометрами, например, ЭФ-4 или "Градиент-3" [3]. Однако, этот прибор является устаревшим, как конструктивно (по элементной базе и схемотехнике), так и физически, из-за износа механических узлов. В связи с этим, ИКИР в ноябре 2015 г. в рамках выполнения гранта РНФ приобрел современный цифровой электрометр CS110 (Campbell Scientific, Inc., США). Кроме модернизации приборной базы для мониторинга АЭП, ставилась задача сопоставления результатов измерений с помощью электрометра "Поле-2" с результатами электрометра CS110, который задает определенный международный стандарт в области наблюдений за АЭП (см, например, [4]).

Аппаратура и условия эксплуатации

Электрометр CS110 является распространенным прибором в международных исследованиях АЭП, в т.ч. для контроля за грозовой активностью. Измерения вертикального градиента потенциала АЭП E_z выполняются на том же методическом принципе, что и в датчике "Поле-2": модуляция электростатического поля движущейся пластиной (field mill). Однако в отличие от "Поля-2" с вращающейся с большой скоростью пластины, в CS110 используется модулирующая пластина с возвратно-поступательным движением, что обеспечивается шаговым двигателем. Кроме того, измерительный элемент датчика CS110 ориентирован вниз, что предохраняет его обтюратор от осадков, создающих проблемы для "Поля-2" во время сильных снегопадов. Чувствительность CS110 в диапазоне ± 2200 В/м составляет 0.32 В/м, среднеквадратическое значение шума 0.42 В/м. Предусмотрена возможность автоматического переключения на расширенный диапазон ± 22300 В/м (с потерей чувствительности на порядок). Электрометр включает логгер CR1000 для управления, сбора данных и обмена с внешними устройствами, например, компьютером. Передача информации в компьютер происходит по каналу WiFi, синхронизация внутреннего таймера обеспечивается по PPS-сигналу встроенного приемника GPS, выполняется контроль (и регистрация) тока утечки, температуры и влажности датчика CS110, буферная память и питание от батареи обеспечивают автономные измерения в течение 7 сут. Кроме того, к логгеру мо-

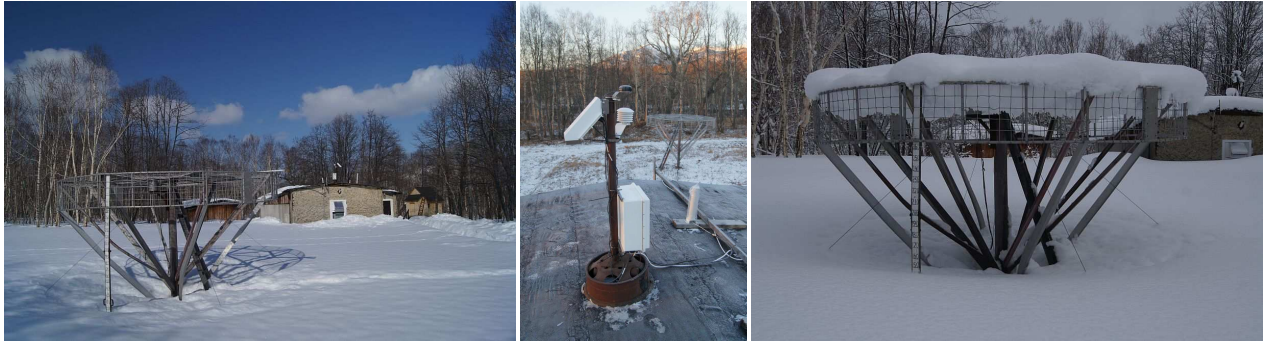


Рис. 1. Электрометры на обсерватории "Паратунка". Левая панель: специальная опора с датчиком "Поле-2" в центре (впереди — рейка для измерения уровня снежного покрова), на заднем плане — технический павильон с электрометром CS110 на крыше. Средняя панель: электрометр CS110 на специальной опоре на крыше технического павильона, на заднем плане — опора с датчиком "Поле-2". Правая панель: опора и датчик "Поле-2", засыпанные снегом после циклона (23 марта 2016 г.).

гут быть подключены дополнительные внешние датчики, например, метеорологические: температуры, влажности и осадков.

Электрометр CS110 (датчик, бокс с логгером, GPS-приемником и системой бесперебойного питания), антенна GPS и датчик внешней температуры-влажности были закреплены на специальной стальной опоре с массивным основанием на крыше технического павильона (площадь примерно $6 \times 6 \text{ м}^2$ с битумным покрытием, см. рис. 1). Датчик, опора и бокс с электроникой заземлены. Питание электрометра — от сети 220 В. Высота измерительного элемента датчика над крышей 1.2 м, высота крыши на уровне земли — 3.7 м. Примерно в 19 м к югу от CS110 находится датчик электрометра "Поле-2" на специальной каркасной опоре, высота обтюлятора около 3 м.

Регистрирующий ноутбук со штатной программой LoggerNet расположен внутри павильона. Частота измерений 1 Гц. Выходной файл с данными включает время, значение градиента потенциала E_z (В/м), флаг статуса измерения, ток утечки (нА), температуру и влажность внутри датчика ($^{\circ}\text{C}$, %), напряжение батареи питания встроенного ИБП. В отдельный файл выводятся данные, полученные 10-минутным усреднением. Данные из буферной памяти логгера записываются в файлы по расписанию (ежечасно). Однако программа LoggerNet позволяет в текстовом и графическом виде отображать результаты текущих измерений в режиме онлайн.

Результаты

Регулярные наблюдения с помощью CS110 были начаты в ноябре 2015 г., т.е. захватили зимний сезон со снегопадами и низкими температурами, наиболее проблемный для измерений АЭП. За весь рассмотренный период существенных сбоев аппаратуры или ПО не было, в т.ч. в периоды отключения электроэнергии. Начальная основная калибровка электрометра CS110 выполнена разработчиком и в штатном режиме эксплуатации не требуется. Однако, на момент подготовки настоящего доклада приведение результатов измерений к уровню земли не выполнялось, поскольку соответствующий редуцирующий коэффициент не был определен из-за снега.

Как отмечалось выше, циклоны в холодные сезоны сопровождаются обильными снегопадами с высотой выпавшего снега до 0.5-1.0 м. На рис. 1 (правая панель) представлено фото опоры "Поле-2" после циклона в марте 2016 г., на котором видно, что датчик пол-

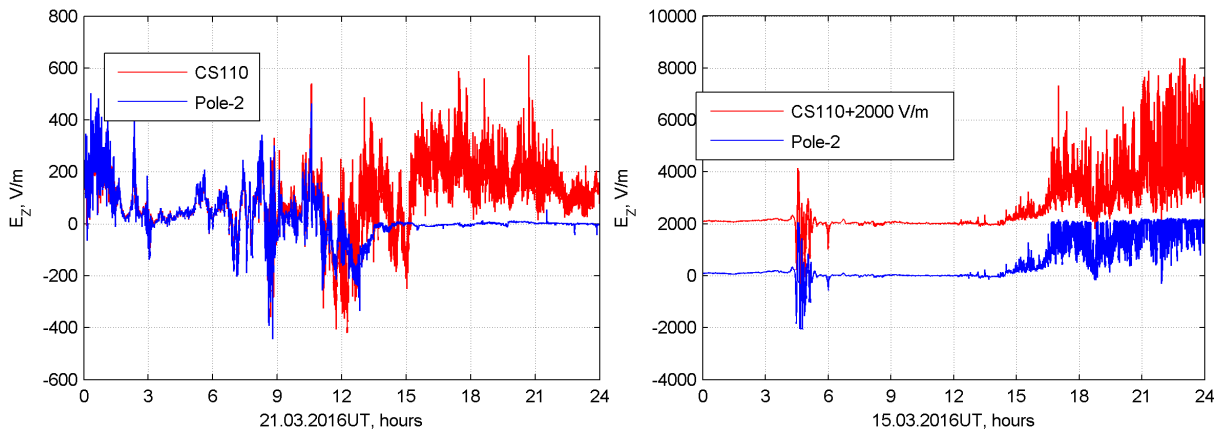


Рис. 2. Запись АЭП с помощью электрометров "Поле-2" и CS110 во время экстремальных погодных условий. Левая панель: во время сильного снегопада после 13UT датчик "Поля-2" был засыпан снегом. Правая панель: небольшой снег при штормовом ветре после 16UT приводит к уходу записи "Поля-2" вне допустимого уровня (запись CS110 смещена по ординате для лучшего представления).

ностью укрыт снегом. При этом его показания падают до нуля. В то же время измерения CS110 продолжают благодаря ориентированному вниз обтюратору (рис. 2, левая панель). Вторым положительным моментом в измерениях с помощью CS110 является его увеличенный диапазон измерений, до 22 тыс. В/м, в то время как возможности "Поля-2" даже на грубом канале ограничены диапазоном около ± 2000 В/м (см. пример записи на рис. 2, правая панель).

Результаты измерений двумя электрометрами при условиях хорошей погоды (УХП) достаточно близки. В качестве примера на рис. 3 показаны вариации E_Z за полные сутки 04.02.2016 г. и за один час 09.02.2016 г.

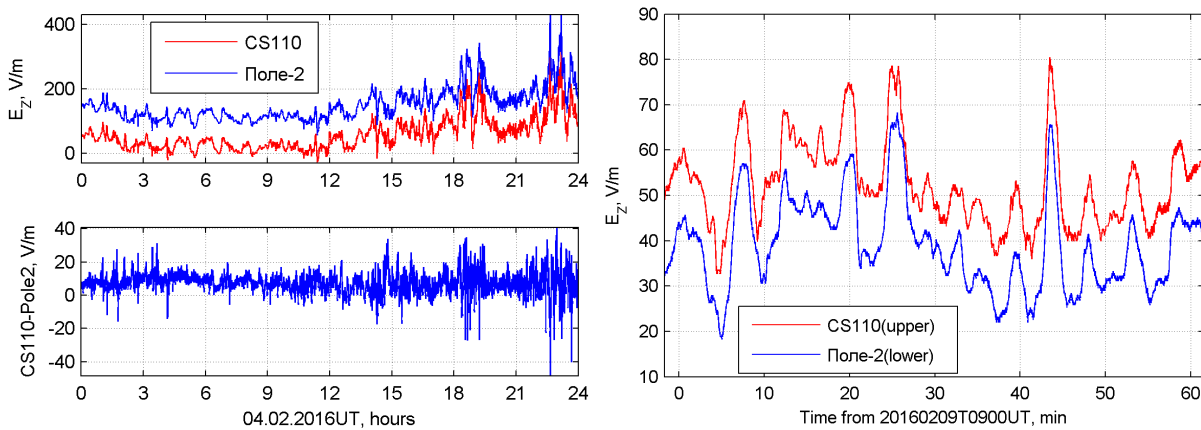


Рис. 3. Сравнение вариаций E_Z , полученных с помощью электрометров "Поле-2" и CS110 при УХП. Левая панель: суточные записи за 09.02.2016 г. (вверху) и их разности (внизу). Правая панель: часовой фрагмент записи за 04.02.2016 г.

Поскольку коэффициент редукции к уровню земли для CS110 не был определен, то существуют регулярные масштабные различия в данных, которые в кривых на рис. 3 исключены подбором соответствующего множителя. Как видно по рис. 3, результаты двух приборов достаточно близки. Колебания разностей достигают 10-20% при быстрых вари-

ациях E_Z и вызваны, вероятно, локальной динамикой АЭП из-за пространственного разнесения электрометров или их разной аппаратной инерционностью при отклике на резкие возмущения. Достаточно часто амплитудно-фазовые различия в записях на характерных временах в единицы-десятки секунд наблюдаются при небольшом ветре.

Выводы

Первые регулярные измерения градиента потенциала E_Z с помощью нового электрометра-флюксметра CS110 выполнены на обсерватории "Паратунка" ИКИР ДВО РАН при достаточно экстремальных метеорологических условиях зимы-весны 2016 г. и без строгой метрологической основы. Тем не менее, электрометр показал себя как надежный и функциональный прибор, имеющий определенные преимущества по сравнению с штатным измерителем обсерватории "Поле-2", в основном при наблюдениях, когда погодные условия далеки от УХП. Результаты измерений с помощью CS110 и "Поля-2" показывают высокую согласованность при нормальных условиях, наблюдаемые различия могут быть объяснены особенностями локальной динамики АЭП в окрестности установки пространственно разнесенных приборов.

В 2016 г. планируется провести мероприятия по калибровке CS110 с учетом места расположения, выполнить специальную сверку CS110 и "Поля-2", а также сделать сравнение с другими электрометрами, например, ЭФ-4, которые используются в КФ ГС РАН.

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ 14-11-00194.

Литература

1. *Buzevich A.V., Smirnov S.E.* Specialized Hardware-Software Complex of Geophysical Observatory "Paratunka" // 23 General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics. Sapporo, Japan. - 2003. - P.В81.
2. Датчик напряженности электрического поля "Поле-2". Техническое описание и инструкция по эксплуатации. - Ленинград: Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, 1991. - 35 с.
3. *Акбашев Р.Р., Фирстов П.П., Хомутов С.Ю., Ефимов В.А.* Измерения электрического поля атмосферы: результаты сверки электростатических флюксметров "ЭФ-4" и "Поле-2" // Проблемы комплексного геофизического мониторинга Дальнего Востока России. Труды Пятой научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский. 27 сентября — 3 октября 2015 г. / Отв. ред. В.Н. Чебров. – Обнинск: ГС РАН, 2015. – С.197-201.
4. *Magina F.C., Naccarato K.P., Pinto O., Alonso L.H., Campos D., Borsoi D., Mello A., Simomura C., Ferro M.A.S., Yamasaki J., Pimentel D.R.M.* Atmospheric electric field mill deployment in southeastern of Brazil // XV International Conference on Atmospheric Electricity, 15-20 June 2014, Norman, Oklahoma, U.S.A. - P.1-11.