

УДК 551.594

**ПЕРВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАБЛЮДЕНИЯ
АТМОСФЕРНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ С
ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОМЕТРА CS110 НА
ОБСЕРВАТОРИИ "ПАРАТУНКА", КАМЧАТКА ***

**С. Ю. Хомутов, С. Э. Смирнов, С. В. Бутин,
И. Ю. Бабаханов**

Институт космофизических исследований и распространения радиоволн ДВО РАН,
684034, Камчатский край, с. Паратунка, ул. Мирная, 7

E-mail: khomutov@ikir.ru

Представлены результаты измерений градиента потенциала атмосферного электрического поля на обсерватории "Паратунка" с помощью флюксметра CS110

Ключевые слова: атмосферное электричество, электрометр, мониторинг

© Хомутов С. Ю. и др., 2016

MSC 86A10

**FIRST RESULTS OF ATMOSPHERIC ELECTRICITY
MEASUREMENTS AT THE OBSERVATORY
"PARATUNKA", KAMCHATKA, USING THE CS110
ELECTRIC FIELD METER**

**S. Y. Khomutov, S. E. Smirnov, S. V. Butin,
I. Y. Babakhanov**

Institute of Cosmophysical Researches and Radio Wave Propagation FEB RAS, 684034,
Kamchatskiy Kray, Paratunka, Mirnaya st., 7, Russia

E-mail: khomutov@ikir.ru

The results of continuous measuring of vertical gradient of AEF potential by CS110 during a few months are presented. The comparison of CS110 and "Pole-2" are performed.

Key words: atmospheric electricity, electric field meter, measurements

© Khomutov S. Y., et al., 2016

*Работа выполнена при поддержке РФФ, грант 14-11-00194

Введение

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 (электромметр, флюксметр) "Поле-2" [2], обеспечивающий получение достоверных и качественных результатов, в т.ч. благодаря имеющейся самокалибровке и эпизодическим сравнениям с другими электромметрами, 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 электромметр CS110 (Campbell Scientific, Inc., США). Кроме модернизации приборной базы для мониторинга АЭП, ставилась задача сопоставления результатов измерений с помощью электромметра "Поле-2" с результатами электромметра CS110, который задает определенный международный стандарт в области наблюдений за АЭП (см, например, [4]).

Аппаратура и условия эксплуатации

Электромметр 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). Электромметр 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 могут быть подключены дополнительные внешние датчики, например, метеорологические: температуры, влажности и осадков.

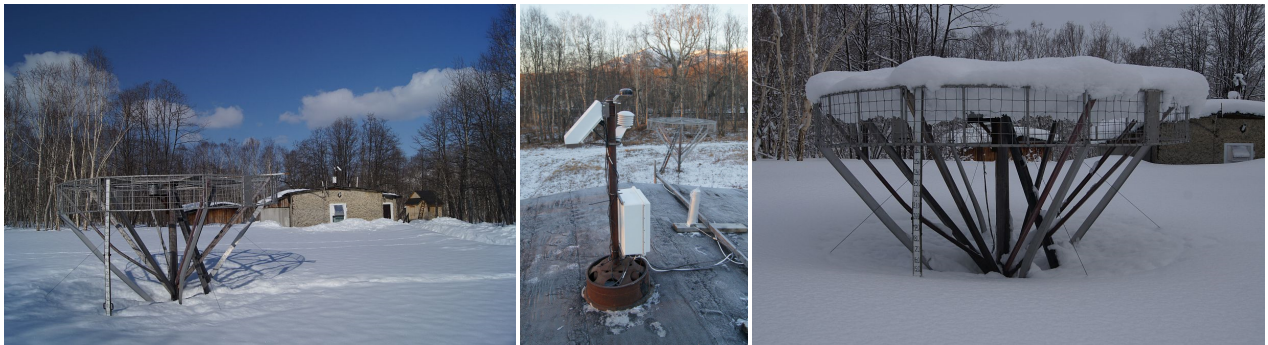


Рис. 1. Электрометры на обсерватории "Паратунка". Левая панель: специальная опора с датчиком "Поле-2" в центре (впереди — рейка для измерения уровня снежного покрова), на заднем плане — технический павильон с электрометром CS110 на крыше. Средняя панель: электрометр CS110 на специальной опоре на крыше 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.).

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 обтюратора 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.

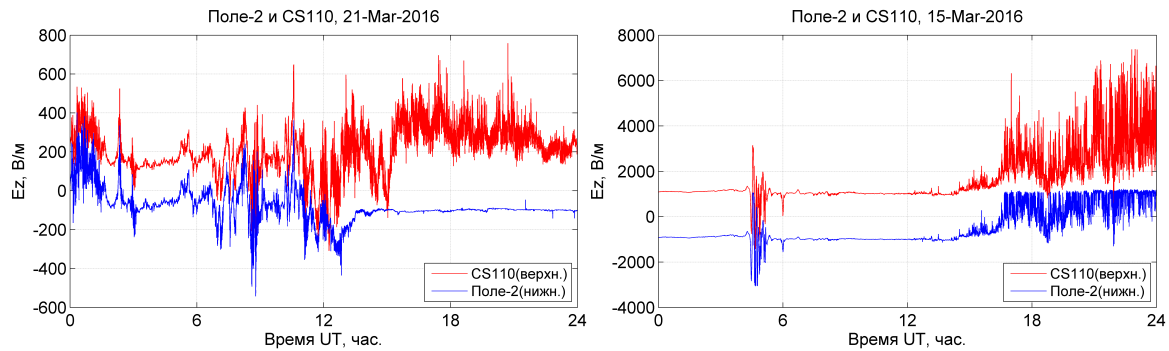


Рис. 2. Запись АЭП с помощью электрометров "Поле-2" и CS110 во время экстремальных погодных условий. Левая панель: во время сильного снегопада после 13UT датчик "Поля-2" был засыпан снегом. Правая панель: небольшой снег при штормовом ветре после 16UT приводит к уходу записи "Поля-2" вне допустимого уровня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

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 полностью 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.

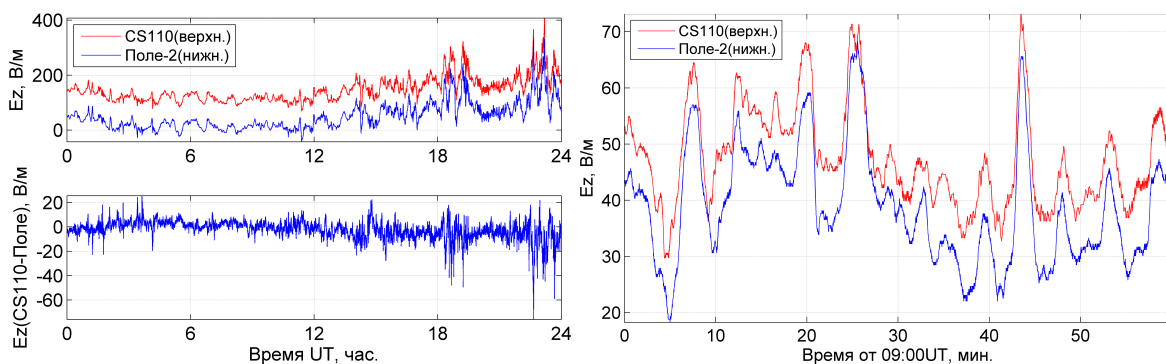


Рис. 3. Сравнение вариаций E_z , полученных с помощью электрометров "Поле-2" и CS110 при УХП. Левая панель: суточные записи за 04.02.2016 г. (вверху) и их разности (внизу). Правая панель: часовой фрагмент записи за 09.02.2016 г.

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 вариациях 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.

Список литературы

- [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*, Abstract volume, 2003, B81.
- [2] Датчик напряженности электрического поля "Поле-2". Техническое описание и инструкция по эксплуатации, Главная геофизическая обсерватория им. А.И.Воейкова, Ленинград, 1991, 35 с.; [*Datchik napryazhennosti elektricheskogo polya "Pole-2". Tekhnicheskoe opisanie i instruktsiya po ekspluatatsii*, Glavnaya geofizicheskaya observatoriya im. A.I.Voeykova, Leningrad (in Russian), 1991, 35 pp.
- [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-техн. конф. (Петропавловск-Камчатский. 27 сентября — 3 октября 2015 г.), ред. В.Н. Чебров, ГС РАН, Обнинск, 2015, 197–201; [Akbashev R.R., Firstov P.P., Khomutov S.Yu., Efimov V.A., "Izmereniya elektricheskogo polya atmosfery: rezul'taty sverki elektrostaticheskikh flyuksmetrov "EF-4" i "Pole-2"", *Problemy kompleksnogo geofizicheskogo monitoringa Dal'nego Vostoka Rossii*, Trudy Pyatoy nauchno-tekhn. konf. (Petropavlovsk-Kamchatskiy. 27 sentyabrya — 3 oktyabrya 2015 g.), ed. V.N. Chebrov, GS RAN, Obninsk, 2015, 197–201 (in Russian)].
- [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.), 2014, 1–11.