**Недорогие инструменты мониторинга качества воздуха: от теории к практике (Итоги семинара)**

Андреа Л. Клементс 1, Уильям Дж. Грисволд 2, Абхиджит Р.С. 3, Джилл Э. Джонстон 4, Меган М. Хертинг 4, Джейкоб Торсон 5, Эшли Кольер-Оксандейл 5 и Майкл Ханниган 5

1 Офис исследований и разработок, Агентство по охране окружающей среды, НИИ в Триангл Парк, Северная Каролина 27711, США

2 Факультет компьютерных наук и инженерии, Калифорнийский университет в Сан-Диего, Ла-Холья, Калифорния 92093, США; wgg@cs.ucsd.edu

3 Офис главного научного сотрудника Фонда защиты окружающей среды, Сан-Франциско, Калифорния 94105, США; arudrapatna@edf.org

4 Департамент профилактической медицины, Университет Южной Калифорнии, Лос-Анджелес, Калифорния 90089, США; jillj@usc.edu (Дж.Э.Дж.); herting@usc.edu (М.М.Х.)

5 Факультет машиностроения, Университет Колорадо, Боулдер, Боулдер, Колорадо 80309, США; jacob.thorson@colorado.edu (Дж.Т.); ashley.collier@colorado.edu (Э.К.-О.); ichael.hannigan@colorado.edu (М.Х.)

\* Письма: clements.andrea@epa.gov; Тел .: + 1-919-541-1363

Получено: 21 сентября 2017 года; Принят: 19 октября 2017 года; Опубликовано: 28 октября 2017 г.

**Аннотация:** В мае 2017 года в Лос-Анджелесе (Калифорния, США) был проведен двухдневный семинар для специалистов-практиков, которые работают с недорогими датчиками, используемыми для измерения качества воздуха. Сообщество практиков включало представителей академических кругов, промышленности, некоммерческих групп, общественных организаций и регулирующих органов. Группа собралась, чтобы поделиться знаниями, полученными в результате различных экспериментальных проектов, в надежде расширить коллективные знания о том, как наилучшим образом использовать недорогие датчики качества воздуха. Темы группового обсуждения включали: (1) передовые методы для внедрения и калибровки недорогих сенсорных систем, (2) проблемы стандартизации данных и проектирование базы данных, (3) достижения в области калибровки датчиков, управления данными, анализа и визуализации данных, и (4) уроки, извлеченные из исследований/общественных партнерств, чтобы стимулировать целенаправленное использование датчиков и совершать изменения/действия. Панельные дискуссии подвели итоги достижений в области знаний и успехов проекта, а также подчеркнули вопросы, нерешенные проблемы и технологические ограничения, которые все еще остаются в области недорогих датчиков качества воздуха.

**Ключевые слова**: качество воздуха; недорогие датчики; стандарты данных; управление данными; организации, основанные на сообществах

**1. Введение**

В Соединенных Штатах качество воздуха традиционно измерялось в соответствии с метрикой, установленной Агентством по охране окружающей среды США (АООС США) с использованием оборудования, которое реализует федеральный эталонный метод (ФРМ) или федеральный эквивалентный метод (ФЭМ). Эти устройства стоят десятки тысяч долларов и требуют значительной инфраструктуры и обученного персонала для работы [1]. За последние десять лет благодаря миниатюризации и другим технологическим достижениям на рынок был выпущен ряд недорогих (менее 2500 долларов) датчиков, предназначенных для измерения атмосферных частиц и газов. Хотя датчики не могут заменить традиционные мониторы ФРМ/ФЭМ, эти датчики создали новые возможности для расширения доступа к мониторингу качества атмосферного воздуха для таких приложений, как оценка состояния здоровья людей и субрегиональная оценка качества воздуха [2,3]. Резиденты сообществ Экологической справедливости особенно заинтересованы в использовании сенсорной технологии для сбора данных на уровне района, чтобы проиллюстрировать влияние конкретных источников выбросов и масштабы проблем качества воздуха, влияющих на их сообщества.

Усилия, связанные с применением этого нового поколения недорогих датчиков, приняли несколько форм. Хотя в разработку недорогих датчиков качества атмосферного воздуха было вложено много средств, продолжаются исследования с целью определения надлежащего и целенаправленного использования датчиков и сетей и разработки инструментов анализа и визуализации данных для обработки и интерпретации собранных данных. В целях повышения точности измерений были предприняты попытки определить, как недорогие датчики реагируют на изменения условий окружающей среды.

Точность и надежность стали объединяющими проблемами. Разработка и внедрение измерительной системы были затруднены из-за сложного характера откликов недорогих датчиков газа и частиц. Некоторые датчики демонстрируют неприятный разброс параметров при производстве, а чувствительность датчиков к таким факторам окружающей среды, как температура, влажность и атмосферное давление, оказалось трудной для моделирования в широком диапазоне условий. Было показано, что характеристики недорогих датчиков изменяются с возрастом в зависимости от того, как долго они работают. Проблемы с дрейфом датчика вызвали необходимость частой повторной калибровки, что снижает их стоимость. Кроме того, недорогие датчики также оказались чувствительными к скорости воздухообмена в корпусе, что усложняет использование мобильных устройств, которые являются популярным применением недорогих датчиков из-за их небольшого размера и низкого энергопотребления [4]. Датчики могут медленно реагировать на изменения уровня загрязняющих веществ, в результате чего выбросы загрязняющих веществ, с которыми сталкиваются мобильные устройства, недооцениваются. Наконец, датчики качества воздуха часто продаются для одного загрязнителя, но проявляют перекрестную чувствительность к другим загрязнителям. В ходе текущих исследований изучается ряд датчиков для определения перекрестной чувствительности и работы по разрешению и количественному определению отдельных видов газа с использованием передовых методов калибровки и сравнения с измерениями ФРМ/ФЭМ [5–12]. Быть в курсе этого технологического сектора в лучшем случае сложно, учитывая, что новые датчики или версии появляются на рынке, казалось бы, каждый день, а наша способность оценивать технологию требует кропотливых исследований.