



# Экспертиза качества воздуха как важнейший фактор здоровых и благополучных городов

Юлия Гарсия

Пандемия коронавирусной инфекции чрезвычайно повлияла на жизнь и организацию труда и по касательной снизила антропогенную нагрузку на окружающую среду, но будет ли этот эффект стойким? Эксперты полагают, что именно сейчас необходимо обратить внимание на проблему загрязнения атмосферного воздуха как на важнейший фактор широкого распространения респираторных и хронических заболеваний, вызванных вирусами. В статье в общих чертах раскрываются причины и последствия атмосферного загрязнения и подробно рассматриваются комплексные решения компании Libelium для мониторинга состояния окружающей среды.

*Коронавирус — это природа, наказывающая человеческую расу за сохранение нецивилизованных жизненных привычек.*

Ши Чженли, вирусолог

Загрязнение атмосферного воздуха — причина возникновения многих болезней и высокой смертности, вызванных внешними условиями. В отличие от пассивного курения, избежать воздействия химических, физических или биологических компонентов, попавших в среду техногенным путём и оказывающих вредное влияние на живые организмы,

невозможно. В разных странах были неоднократно зафиксированы случаи катастрофического загрязнения воздуха с повышенным содержанием диоксида серы и пылевых частиц, которые сопровождалось увеличением числа случаев респираторных заболеваний со смертельным исходом. Такого рода экологические катастрофы были зарегистриро-

ваны в долине реки Маас в Бельгии в 1930 году, в США в штате Пенсильвания (Донорский смог) в 1948 году, в 1952 году в Лондоне (Великий смог, рис. 1), а также в Москве в 2010 году (смог, вызванный торфяными пожарами) [1].

Неотъемлемым условием успеха атмосфероохранной деятельности является информация о содержании в атмосфере различных примесей. Для этого в 1972 году в СССР была создана Общегосударственная служба наблюдений и контроля за уровнем загрязнения природной среды (ОГСНК). В рамках ОГСНК действует сеть станций наблюдений за загрязнением атмосферы — ОГСНКА.

На основании установленного перечня веществ, подлежащих контролю, в каждом городе определяются вещества для организации наблюдений на опорных стационарных постах, организуются наблюдения за содержанием основных загрязняющих веществ: пыли, диоксида серы, оксида углерода, оксида и диоксида азота — и за специфическими веществами, которые характерны для промышленных выбросов многих предприятий города (населённого пункта) [2].



Источники: <https://www.britannica.com/science/air-pollution/Greenhouse-gases>

Рис. 1. Великий лондонский смог (Great Smog), 1952 год

## Основные источники загрязнения воздуха и их влияние на организм человека

Для экологических и эпидемиологических исследований особую важность приобретает информация о содержании **пылевых частиц, диоксида углерода, диоксида серы, диоксида азота**, происхождение которых может быть как природным (пылевые бури, эрозия почвы, органические испарения, вулканические извержения), так и антропогенным (двигатели внутреннего сгорания, угольные электростанции и другие виды промышленной деятельности).

### Пылевые частицы PM2.5

Пылевые, или мелкодисперсные, частицы – PM (Particulate Matter) представляют собой широко распространённый и особо опасный загрязнитель атмосферного воздуха.

К показателям, которые обычно используются для характеристики чистоты атмосферного воздуха и имеют значение для здоровья, относятся массовые концентрации частиц диаметром менее 10 мкм (PM10) и диаметром менее 2,5 мкм (PM2.5). В индекс содержания PM2.5 также входит содержание ультрамелкодисперсных частиц диаметром менее 0,1 мкм. Почему именно они привлекают общественное внимание (рис. 2)? В отличие от более крупных, частицы PM2.5 легко проникают сквозь биологические барьеры и поэтому представляют наибольшую угрозу для организма.

Мелкие (менее 2,5 мкм в диаметре) и ультрамелкие (менее 0,1 мкм) частицы состоят из мельчайших пылинок и аэрозолей кислот, щелочей, углеводородов, образуются либо путём выбросов в атмосферу (первичные PM), либо в результате химических реакций (вторичные PM). Имея низкую скорость оседания (фракция PM0.1 может вообще никогда не осесть), легко проникают в лёгкие и в другие органы человека, а также переносятся на большие расстояния.

Более крупные (PM10–PM2.5) попадают в окружающую среду при измельчении почвы, в процессе обработки дерева, строительных работ, а также эрозии дорожного покрытия вследствие движения автотранспорта и истирания тормозных колодок и шин. Высокая скорость оседания на поверхность делает их менее опасными для здоровья человека. В составе PM также встречаются



Рис. 2. 3,1 млн человек умерло от заболеваний, связанных с превышением концентрации в атмосфере пылевых частиц PM2.5, за период с 1990 по 2010 годы

ся аллергены, микроорганизмы, споры грибов и пыльца растений.

*Краткосрочные и долгосрочные последствия для здоровья от высокой концентрации PM2.5 в атмосфере:*

- раздражение слизистых оболочек;
- аллергические реакции;
- обострение респираторных заболеваний;
- бактериальные и грибковые инфекции;
- фиброз лёгких;
- онкологические заболевания;
- преждевременная смертность.

Долгосрочные последствия проявляются не сразу. Частицы PM2.5 накапливаются в лёгких годами и не выводятся из них.

### Диоксид серы и диоксид азота

Диоксид серы (сернистый газ, сернистый ангидрид) SO<sub>2</sub> – результат сгорания природного топлива, как, например, уголь и неочищенная нефть, в высоких дозах очень токсичен, относится к III классу опасности (умеренно-опасное химическое вещество). Основными источниками повышенного содержания SO<sub>2</sub> в атмосфере являются тепловые электростанции, нефтеперерабатывающие заводы, металлургические и целлюлозные комбинаты.

Ещё более токсичен (II класс опасности) диоксид азота (NO<sub>2</sub>), летучее химическое соединение со специфическим запахом, источники выбросов – автотранспорт, выхлопные газы которого вносят наибольший вклад в концентрацию этого газа в городской атмосфере, теплоэлектростанции, предприятия нефтехимической и металлургической отраслей, заводы по производству удобрений, мусоросжигательные заводы.

Даже небольшое превышение предельно допустимой концентрации (ПДК)

сернистого газа и диоксида азота вызывает раздражение слизистых оболочек. Более высокая концентрация может вызвать удушье, вплоть до отёка лёгких. При взаимодействии сернистого ангидрида и диоксида азота с парами воды в атмосфере образуются аэрозоли серной и азотной кислот, при высоких концентрациях приводящие к выпадению кислотных дождей, что угнетающе воздействует на здоровье человека и биосферу в целом.

### Невидимый убийца: загрязнение воздуха не всегда заметно, но всегда имеет последствия

По данным ВОЗ (Всемирной организации здравоохранения), загрязнение воздуха становится причиной 24% случаев смерти от инсульта, 25% случаев смерти от сердечно-сосудистых заболеваний и 43% (!) случаев смерти от болезней лёгких. Но если учесть, что коронавирусная инфекция распространяется и протекает в особо тяжёлой форме в местах с наибольшей концентрацией PM2.5, что доказано исследованиями Гарвардского университета (рис. 3), то вред, причиняемый здоровью, поражает воображение.

Результаты исследований подчёркивают важность установления контроля за загрязнением атмосферного воздуха в целях защиты здоровья человека и в посткризисный период [3].

### Мониторинг качества атмосферного воздуха

Экологический мониторинг качества атмосферного воздуха сам по себе не уменьшает уровень загрязнений, но предоставляет информацию о составе примесей, их концентрации, а также

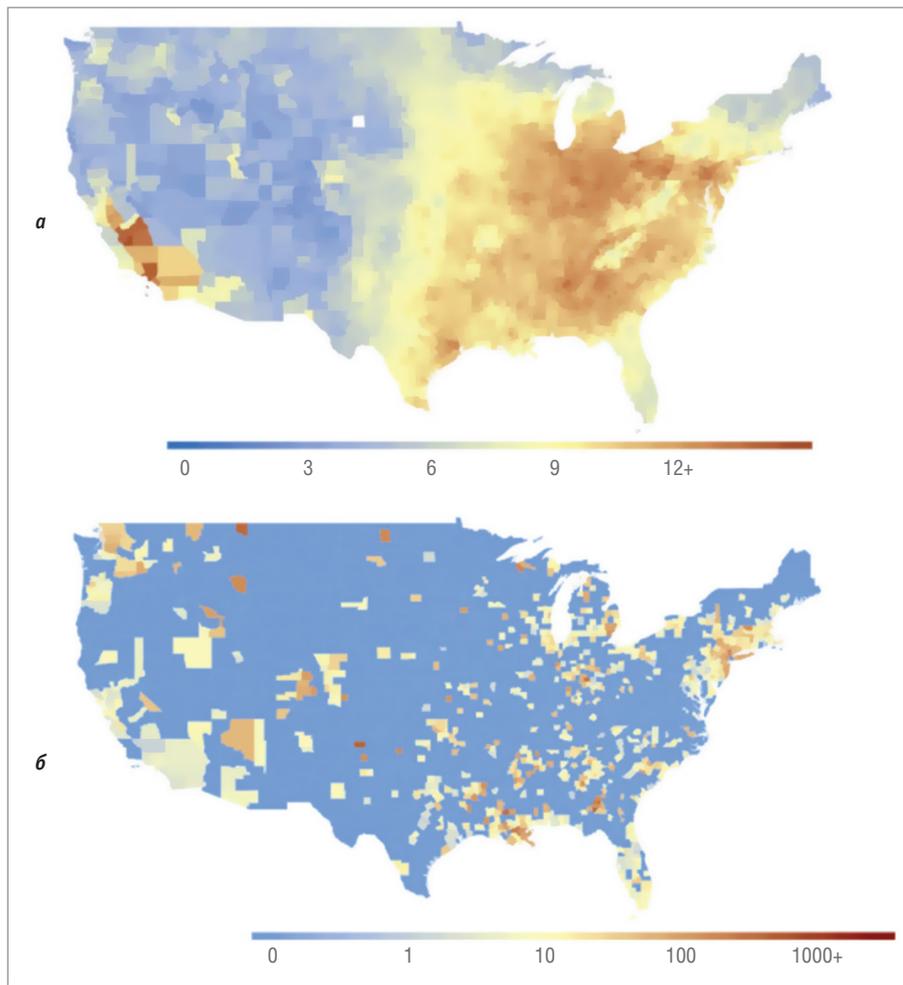


Рис. 3. Средний уровень концентрации пылевых частиц PM (2000–2017 гг.) по округам США (а) и смертность от COVID-19 на 1 000 000 человек в США на 4 апреля 2020 года (б)

о климатических условиях их распространения.

Если согласно расчёту максимальная концентрация примеси в атмосфере превышает предельно допустимую, то необходимо проведение технологических и организационных мероприятий для снижения выбросов.

Измерения индекса качества воздуха AQI (Air Quality Index) как важнейшего экологического параметра производятся в опорных стационарных, маршрутных или передвижных лабораториях. AQI – условная единица измерения, чем больше значение показателя, тем выше уровень загрязнения воздуха. В городах показатель AQI редко бывает меньше 50, но если он превышает 300, то здоровье горожан подвергается серьёзному риску [4].

Компания **Libelium** в соответствии с новейшими европейскими директивами охраны окружающей среды для организации и проведения наблюдений за состоянием атмосферы предлагает использовать масштабируемые измерительные устройства с функцией интеллектуального мониторинга на базе

энергоэффективной модульной платформы **Waspnote** (рис. 4).

Измерительная платформа **Waspnote** была разработана компанией **Libelium** в 2009 году и быстро приобрела популярность среди разработчиков, использующих её в качестве базового элемента с открытым исходным кодом для органи-



Рис. 4. Модульная платформа Waspnote

зации беспроводных сетей Интернета вещей. Потребляя в активном режиме ток 17 мА, платформа **Waspnote** дополнительно поддерживает три альтернативных режима энергосбережения, наиболее экономичным из которых является режим глубокого сна (hibernate, 7 мкА). Низкое энергопотребление **Waspnote** даёт возможность измерительным устройствам, находящимся в сети, быть полностью автономными, питаясь от аккумуляторной батареи и обеспечивая срок непрерывной эксплуатации оборудования от 1 до 5 лет, в зависимости от режима работы и используемого интерфейса передачи данных. Цифровые переключатели позволяют активировать (деактивировать) любой из датчиков, так же как и модули интерфейсов связи [5].

Полностью готовый к эксплуатации внутри и вне помещений измерительный модуль **Waspnote Plug & Sense!**, разработанный в 2012 году на базе платформы, представляет собой устройство с минимальными трудозатратами на монтаж, настройку и техническое обслуживание (Plug & Sense!).

### Измерительный модуль Waspnote Plug & Sense!

Измерительный модуль **Waspnote Plug & Sense!** (рис. 5) в прочном водонепроницаемом корпусе со степенью защиты IP67 принадлежит к новому поколению низковольтных устройств Интернета вещей для проведения измерений, вычислений, обладающих собственными подсистемами коммуникации и электроснабжения. Внешние разъёмы **Waspnote Plug & Sense!** позволяют за счи-



Рис. 5. Измерительный модуль Waspnote Plug & Sense!

WHEN CONNECTIVITY IS CRUCIAL



## ПРОМЫШЛЕННЫЕ ETHERNET-КОММУТАТОРЫ С ПОДДЕРЖКОЙ МАРШРУТИЗАЦИИ



### БЕЗОПАСНОСТЬ

- Фильтрация MAC-адресов
- Контроль широковещательных штормов
- Поддержка IEEE 802.1x и RADIUS
- Поддержка SSH (CLI/Telnet/Web)
- ACL (до 4096 записей)



### КОММУТАЦИЯ

- Управление потоком данных
- Протоколы резервирования
- VLAN
- Агрегация каналов
- IGMP Snooping



### МАРШРУТИЗАЦИЯ

- Одноадресная
  - Static Routing (1K)
  - RIP v1/v2
  - OSPF v2
- Многоадресная
  - PIM-DM
  - PIM-SM
- L3-резервирование
  - VRRP



### ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ

- Коммутирующая матрица 128 Гбит/с
- Скорость пересылки: 95,23 Мпиксел/с
- 4 ГБ ОЗУ DDR3 SDRAM и 2 ГБ флэш-памяти
- Размер таблицы VLAN: 4K
- Размер Jumbo-фрейма: 12 кБ
- До 8000 маршрутов на уровне L3 (IP v4)



#### EG97000

4 × 10G SFP+  
8 × 10/100/1000Base-T  
16 × 100/1000Base SFP



#### EG99000

4 × 10G SFP+  
24 × 10/100/1000Base-T



#### EX77900

МЭК 61850-3 / IEEE 1613  
4 × 10G SFP+  
24 × 10/100/1000Base-T



#### EX73900

МЭК 61850-3 / IEEE 1613  
16 × 10/100/1000Base





**Условные обозначения:** 1 – корпус с электроникой, 2 – датчики, 3 – солнечная панель, 4 – USB-кабель, 5 – антенна, 6 – монтажное крепление, 7 – кабельные стяжки, 8 – удлинитель, 9 – кабель для подключения солнечной панели, 10 – винты и дюбели.

Рис. 6. Пример комплектации Waspote Plug & Sense!

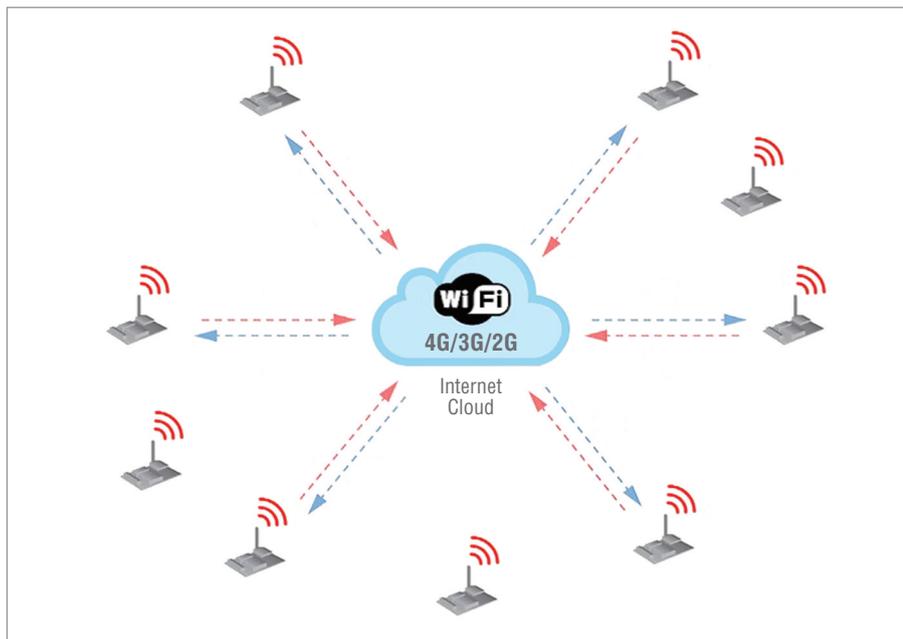


Рис. 7. Использование канала беспроводной связи OTAP для программирования модуля Waspote Plug & Sense!

тантные секунды установить (заменить) датчики, он может питаться как от солнечной батареи, так и от внешнего батарейного модуля, подключённого через USB-кабель (рис. 6). Поддержка стандартов беспроводной связи IEEE 802.15.4, 868 МГц, NB-IoT, Wi-Fi, 4G, Sigfox и LoRaWAN дополняется возможностью использовать промышленные протоколы Modbus, CAN Bus, токовую петлю (4–20 мА), что позволяет широко применять модуль в системах промышленной автоматизации.

Программирование измерительного модуля Waspote Plug & Sense! осуществляется в удобной графической среде с интуитивно понятным интерфейсом через порт USB либо дистанционно по каналу беспроводной связи OTAP (Over The Air Programming) с использованием облачных сервисов, в последнем случае возможно одновременное программирование нескольких узлов. Для подключения модуля к сети Интернет используются беспроводные интерфейсы связи Wi-Fi или 4G (рис. 7).

Наличие специальных держателей, кронштейнов, а также способность функционировать в диапазоне температур  $-30...+70^{\circ}\text{C}$  (рекомендуемый диапазон температур  $-20...+60^{\circ}\text{C}$ ) позволяет устанавливать их на уличных опорах и фасадах зданий в большинстве климатических поясов.

Дополнительно следует упомянуть наличие встроенного трёхосного акселерометра и GPS-приёмника, бесконтактного электромагнитного переключателя, а также внешний разъём для установки SIM-карты для моделей 4G [6].

Продуктовая линейка компании предлагает готовые комплексные IoT-решения для построения интеллектуальных систем сбора данных в городах (Smart Cities, Smart Parking), на сельскохозяйственных и промышленных объектах (Smart Agriculture, Industry 4.0), для охраны окружающей среды (Smart Environment, Water Management), и это далеко не полный перечень сфер применения продукции Libelium (рис. 8).

Далее мы подробно опишем конфигурацию некоторых готовых решений, которые могут быть использованы для экологического мониторинга.

### Smart Environment PRO

Конфигурация Smart Environment PRO даёт возможность вычислять индекс качества воздуха AQI в городах и поселениях разного масштаба, на промышленных или сельскохозяйственных объектах посредством измерения концентрации атмосферных примесей с высокими требованиями к точности, надёжности и диапазону измеряемых параметров. Для проведения экологического мониторинга используются интегрированная в модуль плата Gases PRO Sensor Board и датчики, измеряющие температуру, влажность, давление, освещённость, концентрацию химических веществ и пылевых частиц PM в атмосфере (рис. 9).

Оптический датчик пылевых частиц PM – OPC-N3, основанный на принципе измерения рассеивания света сферической частицей, просвечивает воздушный поток от малоомощного вентилятора лазерным лучом. Уникальная способность датчика – классификация PM по размеру от 0,35 до 40 мкм, что позволяет определять уровень загрязнённости от самого низкого в почти чистых помещениях до 2000 мкм.

Ввиду того, что каждый датчик имеет специализированные электропитание и схему подключения, подсоединение его



Рис. 8. Сферы применения модулей Waspnote Plug & Sense!



Рис. 9. Модель Smart Environment PRO Waspnote Plug & Sense! с датчиком PM



Рис. 10. Идентификатор датчиков

возможно лишь к определённым гнездам (рис. 10). В табл. 1 представлен пример конфигурации подключения датчиков к модулю Smart Environment PRO Waspnote Plug & Sense!, где регламентированы возможные соединения между датчиком и гнездом (розеткой).

Пример конфигурации Smart Environment PRO Waspnote Plug & Sense!

Таблица 1

Датчики	Гнездо Smart Environment					
	A	B	C	D	E	F
SO <sub>2</sub> (сернистый газ)	■					
CO <sub>2</sub> (углекислый газ)		■				
NO <sub>2</sub> (двуокись азота)			■			
PM (PM1 / PM2.5 / PM10)				■		
Температура (°C), влажность (%), давление (кПа)					■	
Освещённость (лк)						■

Сопряжение гнезд Smart Environment PRO Waspnote Plug & Sense! с датчиками

Таблица 2

Датчики	Гнездо Smart Environment					
	A	B	C			F
O <sub>3</sub> (озон)						F
CO (угарный газ)	A	B	C			F
NO (окись азота)	A	B	C			F
NH <sub>3</sub> (аммиак, высокие и низкие концентрации)	A	B	C			F
CH <sub>4</sub> (метан и другие горючие газы)	A	B	C			F
H <sub>2</sub> (водород)	A	B	C			F
H <sub>2</sub> S (сероводород)	A	B	C			F
HCl (хлороводород)	A	B	C			F
O <sub>2</sub> (кислород)	A	B	C			F
Cl <sub>2</sub> (хлор)	A	B	C			F
Расстояние (м)					E	

Также возможно подключение датчиков в любой доступной конфигурации согласно табл. 2.

Монтаж готового IoT-решения Smart Environment PRO показан на рис. 11.

Точность измерений концентрации примесей в атмосфере напрямую зависит от качества поверки (калибровки)

заводом-изготовителем и срока службы датчика. Срок службы высокоточных калиброванных датчиков Libelium составляет 6 месяцев непрерывной работы с максимальной точностью, и для обеспечения максимальной долговечности калибровочной функции датчики изготавливаются после размещения заказа.



Рис. 11. Монтаж готового IoT-решения Smart Environment PRO в городе BeitMisk (Ливан)



Рис. 13. IoT-решения Smart Cities, установленные в городах Гданьск (Польша) и Пальма-де-Майорка (Испания)



Рис. 12. Smart Cities PRO с интегрированными датчиками PM, уровня шума, освещённости

Пример конфигурации Smart Cities PRO

Таблица 3

Датчики	Гнездо Smart Cities					
	A	B	C	D	E	F
Температура (°C), влажность (%), давление (кПа)	■					
Расстояние (см)		■				
Освещённость (лк)			■			
Уровень звука / эквивалентный уровень шума (дБА)				■		
PM (PM1 / PM2.5 / PM10)					■	
CO <sub>2</sub> (углекислый газ)						■



Рис. 14. IoT-шлюз Meshium

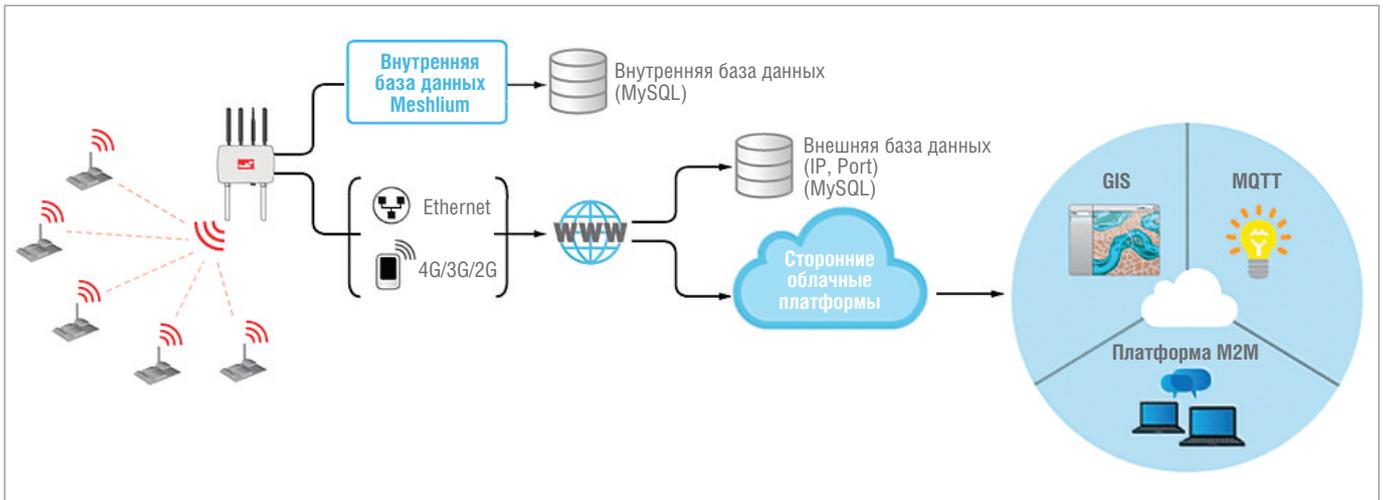


Рис. 15. Сбор и передача данных через беспроводные каналы связи 2G/4G/3G либо через Ethernet при помощи IoT-шлюза Meshlium

Город Сантьяго-де-Компостела (Испания) завоевал премию Aire Limpio Award (экологически чистый город) благодаря IoT-платформе Smart Environment PRO Plug & Sense! компании Libelium [7].

### Smart Cities PRO

Концепция **Smart Cities** – интегрированные в городское пространство технологии Интернета вещей, повышающие качество жизни и безопасность жизни горожан. Её стратегическая цель – создание комплексного городского объекта с высоким уровнем услуг и решение насущных городских проблем.

Libelium предлагает использовать измерительный модуль в конфигурации **Smart Cities PRO**, который кроме параметров качества атмосферного воздуха и метеорологических данных (температура, давление, влажность) способен измерять уровень акустических шумов (этот датчик с водонепроницаемым микрофоном совместим только с конфигурацией **Smart Cities PRO**, рис. 12), освещённость, уровень заполнения мусорных контейнеров датчиком ультразвука.

Конфигурация **Smart Cities PRO** применяется для составления карт шумового загрязнения, оптимизации маршрутов городских служб управления отходами, интеллектуального управления освещением в зависимости от времени суток и погоды и, разумеется, экологического мониторинга (табл. 3).

Точность показаний датчиков, поддержка беспроводных интерфейсов и облачных платформ в режиме реального времени в соответствии с основными требованиями директив ЕС и других мировых стандартов расширяют географию применения IoT-решений **Smart Cities PRO** компании Libelium (рис. 13).

### Многофункциональный беспроводной IoT-шлюз Meshlium

В готовых комплектах для измерения индекса качества воздуха AQI, кроме модулей **Smart Environment PRO** и **Smart Cities PRO**, предлагается использовать защищённый **IoT-шлюз Meshlium** на базе операционной системы Linux (рис. 14). Meshlium получает данные от датчиков и передаёт в облачные платформы, собственную либо сторонние: ThingWorx, Microsoft Azure, IBM Bluemix – по беспроводным протоколам связи GPRS/4G или по Ethernet, он также способен анализировать их и хранить фреймы во внутренней базе данных при сбое подключения (рис. 15).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Урбанизация, дешёвая рабочая сила, хищническое использование природных ресурсов – три кита, на которых выросла индустриализация в XIX и XX веках, – нанесли колоссальный урон природе. На смену им приходит ответственное, бережное отношение к окружающей среде и смена поведенческих шаблонов от демонстративного потребления к антиконсьюмеризму. Развивающимся умным городам для того, чтобы соответствовать как требуемым нормативам, так и общественным запросам, понадобятся высокотехнологичные и точные интеллектуальные системы, измеряющие индекс качества воздуха, оптимизирующие сбор и утилизацию отходов, парковочный трафик и т.д.

В компании **Libelium** считают, что обеспечение возможности измерять степень загрязнения воздуха и принимать меры по его снижению затрагивает общественное здоровье, благополучие, а теперь и экономику целых стран. Наиболее эко-

логически чистые города станут наиболее финансово обеспеченными. ●

### ЛИТЕРАТУРА

1. Частицы PM2.5: что это, откуда и почему об этом все говорят [Электронный ресурс] // Режим доступа : <https://habr.com/ru/company/tion/blog/396111/>.
2. Загрязнения атмосферного воздуха и воздуха внутри помещений: источники загрязнения, влияние на организм, аэро-поллютанты что это? [Электронный ресурс] // Режим доступа : <https://doclvs.ru/medprop8/vozduh.php>.
3. РД 52.04.186-89 Руководство по контролю загрязнения атмосферы. Часть I [Электронный ресурс] // Режим доступа : <http://docs.cntd.ru/document/1200036406>.
4. Urgent control of air pollution to reduce economic and social impact of COVID-19 [Электронный ресурс] // Режим доступа : <https://www.libelium.com/libeliumworld/urgent-control-of-air-pollution-to-reduce-economic-and-social-impact-of-covid-19/>.
5. Waspnote Technical Guide [Электронный ресурс] // Режим доступа : <https://development.libelium.com/waspnote-technical-guide/>.
6. Plug & Sense! Technical Guide [Электронный ресурс] // Режим доступа : <https://development.libelium.com/plug-and-sense-technical-guide/>.
7. Santiago de Compostela (Spain) awarded as a 'clean city' thanks to Libelium technology [Электронный ресурс] // Режим доступа : <https://www.libelium.com/libeliumworld/santiago-de-compostela-spain-awarded-as-a-clean-city-thanks-to-libelium-technology/>.

**Автор – сотрудник  
фирмы ПРОСОФТ  
Телефон: (495) 234-0636  
E-mail: info@prosoft.ru**