

# WEB TECHNOLOGIES FOR THE GEOINFORMATION SYSTEM OF RAPID ASSESSMENT OF ATMOSPHERIC POLLUTION AND CLIMATIC CONDITIONS IN KRASNOYARSK

*Oleg E. Yakubaylik<sup>1,2</sup>, Alexey A. Kadochnikov<sup>1</sup>, Alexey V. Tokarev<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Institute of Computational Modelling SB RAS, Federal Research Center Krasnoyarsk  
Science Center of the Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
Krasnoyarsk, Russia

<sup>2</sup> Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

## **Abstract**

The functionality, architectural features, the user interface of the geoinformation web-system of environmental monitoring of Krasnoyarsk is discussed. This system is created in service-oriented architecture. Data collection from the automated stations to monitor the state of atmospheric air has been implemented. An original device to measure the level of contamination of the atmosphere by fine dust PM2.5 has developed. Assessment of the level of air pollution is based on the quality index AQI atmosphere.

*Keywords: web-GIS, web mapping, web services, environmental monitoring, air pollution, suspended particles, fine dust, spatial data, geoportal, Arduino, aerosol*

# ВЕБ-ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ГЕОИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ОПЕРАТИВНОЙ ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРЫ И КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ В КРАСНОЯРСКЕ

Якубайлик О.Э. <sup>(1)(2)</sup>, Кадочников А.А. <sup>(1)</sup>, Токарев А.В. <sup>(1)</sup>

<sup>1</sup> Институт вычислительного моделирования СО РАН, ФИЦ КНЦ СО РАН, Красноярск

<sup>2</sup> Сибирский федеральный университет, Красноярск

Рассматриваются функциональные возможности, архитектурные особенности, пользовательский интерфейс геоинформационной веб-системы экологического мониторинга г. Красноярска, которая создается в сервис-ориентированной архитектуре. Реализован сбор данных с автоматизированных постов наблюдений за состоянием атмосферного воздуха, разработан оригинальный прибор для измерения уровня загрязнения атмосферы мелкодисперсной пылью PM<sub>2.5</sub>. Оценка уровня загрязнения атмосферы осуществляется на основе индекса качества атмосферы AQI.

*Ключевые слова:* веб-ГИС, веб-картография, веб-сервисы, экологический мониторинг, загрязнение атмосферы, взвешенные частицы, мелкодисперсная пыль, пространственные данные, геопортал, Arduino, аэрозоль.

**Введение.** Мониторинг состояния загрязнения атмосферного воздуха в г. Красноярске ведется рядом организаций федерального и региональных уровней (ФГБУ «Среднесибирское УГМС», КГБУ «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края», ГУ МЧС Красноярского края, СФУ, и проч.). Каждая из этих организаций обладает собственными методиками, технологиями и системами сбора, хранения и обработки данных. Кроме того, с появлением доступных приборов для оценки уровня загрязнения воздуха, усиленное участие в сборе информации об уровне загрязнения стали принимать общественные экологические организации и независимые активисты, блоггеры. Разнообразие используемых решений, межведомственная и организационная разобщенность приводят к тому, что комплексный анализ и оперативная оценка всего массива регистрируемой информации представляются в настоящее время технически затруднительными и практически не проводятся. С учетом запланированного рядом уполномоченных организаций расширения числа стационарных постов наблюдений за состоянием природной среды в ближайшие годы, ситуация будет только усугубляться.

Исследования и разработки для мониторинга загрязнения атмосферы, выполняемые в ИВМ СО РАН, направлены на решение указанной проблемы. Во-первых, ведется разработка веб-ориентированной геоинформационной аналитической системы мониторинга загрязнения атмосферы. Ее отличительной особенностью является представление информации об уровне загрязнения атмосферы в простой наглядной форме, на основе индекса качества атмосферы.

Во-вторых, решаются задача сбора информации об уровне загрязнения атмосферы города, поступающей из разных источников в централизованную базу данных. В рамках организованного информационного взаимодействия с уполномоченными краевыми подведомственными организациями обеспечен сбор данных с автоматизированных постов наблюдений за состоянием атмосферы в реальном режиме времени. Разработан веб-интерфейс для аналитической обработки и представления данных.

В-третьих, на основе доступных комплектующих создан рабочий прототип прибора для измерения уровня загрязнения атмосферы мелкодисперсной пылью, готовится его мелкосерийное производство. Созданный прибор обеспечивает автоматическую передачу данных об уровне загрязнения в базу данных системы мониторинга через сотовую сеть.

Взвешенные частицы PM<sub>2.5</sub> является одним из основных загрязнителей атмосферы (данные Управления Роспотребнадзора по Красноярскому краю), однако при этом в настоящее время федеральная и краевая система мониторинга атмосферы г. Красноярска не измеряют концентрацию PM<sub>2.5</sub>. Стоимость сертифицированных систем (датчиков) регистрации PM<sub>2.5</sub> крайне высокая (не менее 2-3 млн. руб.); органы исполнительной власти Красноярска не

имеют бюджетных средств и законодательной базы для развертывания детальной сети наблюдений (более сотни датчиков) за концентрацией  $PM_{2.5}$ . В то же время себестоимость созданного прибора составляет всего несколько тысяч рублей, при этом погрешность измерений не превышает 10%. Это позволяет говорить о потенциальной возможности развертывания/установки достаточно большого количества устройств в городе (десятки – сотни). В результате может быть создана уникальная научно-исследовательская сеть наблюдений за загрязнением атмосферы мелкодисперсным аэрозолем ( $PM_{2.5}$ ). Такая сеть позволит выявлять проблемные участки и моменты времени в пространственно-временном распределении загрязнений, может стать хорошей «исследовательской основой» для последующего детального анализа сертифицированными приборами, соответствующими экологическими организациями.

**Оценка загрязнения атмосферы на основе индекса качества воздуха.** Качество атмосферного воздуха – важнейший экологический фактор, определяющий здоровье населения и состояние экосистем. Для целей интегральной оценки степени загрязнения атмосферы в большинстве стран мира используются унифицированные показатели – индексы качества атмосферы AQI (Air Quality Index) [1]. AQI – это инструмент предоставления информации о загрязнении атмосферного воздуха широкой общественности в простой и наглядной форме. Основная идея состоит в том, что для каждого вещества формируется шкала уровней загрязнения, состоящая из нескольких классов в зависимости от степени воздействия на здоровье человека. AQI вычисляется на основе индексов концентраций нескольких загрязняющих веществ: взвешенные частицы (PM – particulate matter) диаметром менее 10 мкм ( $PM_{10}$ ) и менее 2,5 мкм ( $PM_{2.5}$ ), углекислый газ  $CO$ , сернистый газ  $SO_2$ , диоксид азота  $NO_2$  и озон  $O_3$ . Для каждого класса шкалы уровней загрязнения также вводится цветовое обозначение (зеленый/желтый/красный/бордовый/черный цвет означают соответствующую степень загрязнения атмосферы и влияние на здоровье человека – от безопасного уровня до стихийного бедствия), формулируются рекомендации населению.

**Система сбора, представления и анализа данных оперативных наблюдений.** Источником данных об уровне загрязнения атмосферы является Краевая ведомственная информационно-аналитическая система о состоянии окружающей среды Красноярского края (КВИАС), сбор которых ведется с 2009 года. Оператор системы – Краевое государственное бюджетное учреждение «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды Красноярского края». Наблюдения за качеством атмосферного воздуха проводятся на 6 автоматизированных постах наблюдений, 5 из которых расположены в г. Красноярске. На этих постах размещено оборудование, обеспечивающее непрерывное автоматическое измерение массовых концентраций оксида и диоксида азота, диоксида серы, оксида углерода, пыли, формальдегида в атмосферном воздухе, а также сбор, обработку, хранение, передачу накопленной информации на удаленный сервер. Наряду с измерениями концентраций в атмосферном воздухе загрязняющих веществ на постах наблюдений в автоматическом режиме проводится измерение метеорологических параметров (направление и скорость ветра, температура, влажность, атмосферное давление). Кроме того, в некоторых районах Красноярска ежедневно проводятся наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха с использованием передвижной лаборатории по скользящему графику по загрязняющим веществам аммиак, сероводород, гидрохлорид, гидрофторид, бенз(а)пирен и взвешенные вещества.

Реализация системы сбора данных выполнена на основе инструментальных программных средств геопортала ИВМ СО РАН [2-4]. Доступ к данным наблюдений осуществляется стандартными средствами геопортала, включающего просмотр табличных данных, экспорт, просмотр данных на картах с возможностью выбора временных интервалов и доступ с помощью общепринятых стандартов. В каталог ресурсов геопортала был добавлен новый тип ресурса – «данные наблюдений». При публикации такого ресурса на геопортале пользователю предоставляется ряд настроек, включающий выбор из списка доступных станций наблюдения и сенсоров. Каждая станция наблюдений имеет пространственную привязку и определенный набор сенсоров. При этом разные станции наблюдений, не относящиеся к одной группе, могут иметь несколько общих сенсоров.

Для просмотра данных наблюдений были расширены возможности существующего картографического веб-интерфейса геопортала [5]. Основные элементы нового интерфейса: карта подложка и данные наблюдения в виде полупрозрачного слоя на выбранный момент времени для выбранного показателя. Пользователю веб-приложения доступны такие элементы управления, как выбор одного из показателей, временного интервала. С помощью дополнительных инструментов можно просматривать данные с определенным временным шагом в одном из направлений. Для поиска аномалий предусмотрен вывод данных в виде активного графика максимальных значений с быстрым переходом к просмотру данных на определенный момент времени (рис. 1).

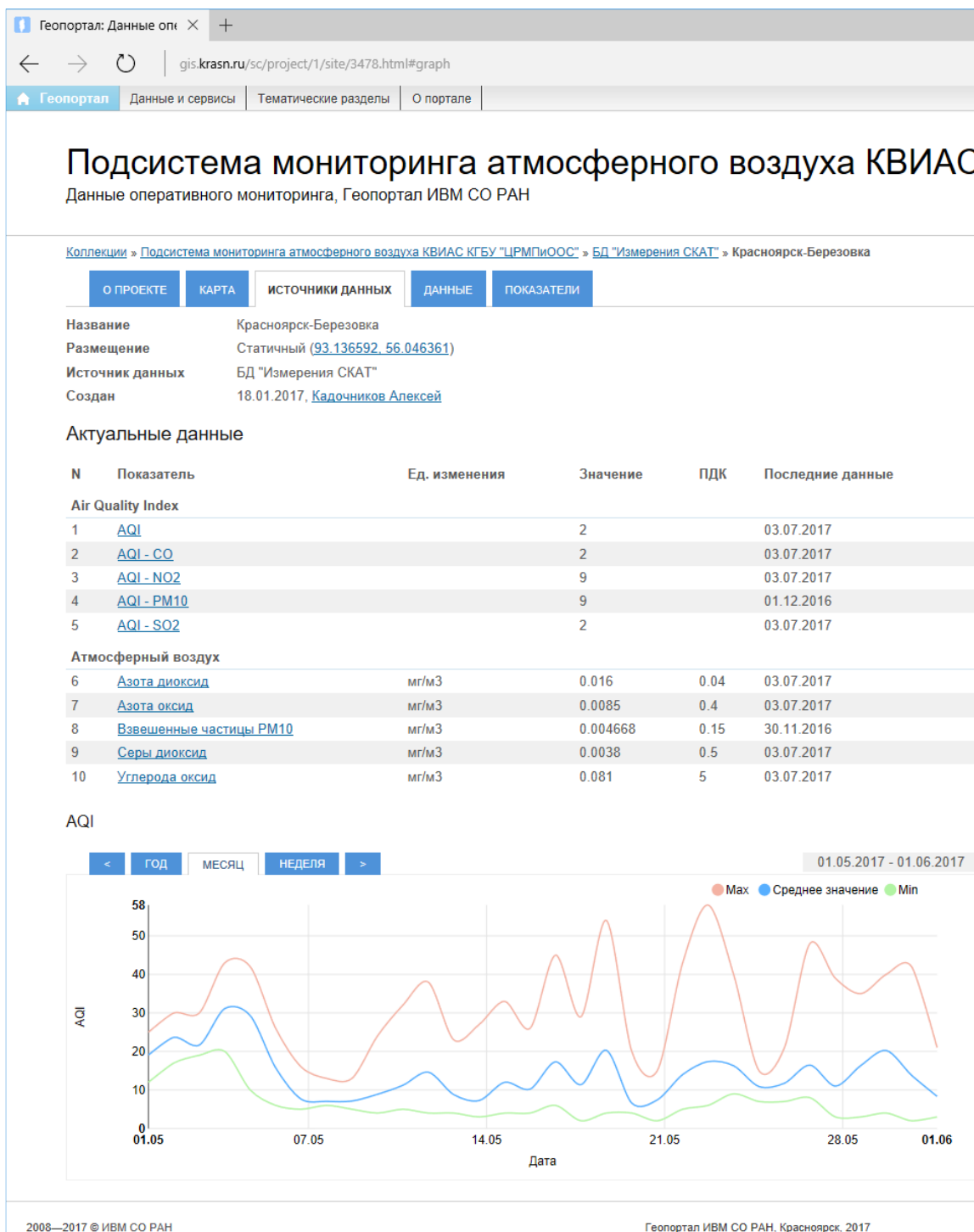


Рис. 1. Раздел данных оперативного мониторинга на геопортале ИВМ СО РАН. На графике показана динамика изменения выбранного показателя (индекс качества воздуха AQI) – средние значения, минимумы и максимумы за выбранный период времени (май 2017 г.).

Для загрузки данных на геопортал подготовлен программный модуль с соответствующим «драйвером» для обработки и преобразования входных данных, обеспечивающий периодическую загрузку данных наблюдений через веб-сервис. Веб-сервис предоставляет доступ к данным в json-формате и содержит три раздела информации: посты наблюдения и их координаты, список показателей (загрязняющие вещества и метеоданные), значение показателей с привязкой ко времени [6, 7].

Для минимизации нагрузки на удаленный сервер в процессе загрузки архива данных наблюдений с 2009 по 2017 гг. были сформированы текстовые файлы в json-формате. Импорт данных напрямую из БД на удаленном сервере на сервер геопортала занял несколько дней. После импорта архива данные загружаются с периодом раз в час. Данные передвижных лабораторий загружаются раз в несколько дней. При возникновении проблем импорта с удаленного веб-сервиса разработанное программное обеспечение автоматически находит дату последних полученных данных и формирует запрос для загрузки новых данных. Для минимизации нагрузки на удаленный сервис данные загружаются порциями с определенным временным интервалом до тех пор, пока не будет достигнут текущий момент времени в данных.

**Прибор для измерения уровня загрязнения атмосферы.** Проектирование и разработка устройства для регистрации концентрации мелкодисперсных взвешенных частиц размером до 2,5 мкм (PM<sub>2.5</sub>) в воздухе выполнялась на основе доступных на рынке электронных компонент. Системной основой прибора стал микроконтроллер Arduino – электронный конструктор и удобная платформа быстрой разработки устройств, которая пользуется огромной популярностью во всем мире благодаря удобству и простоте языка программирования, а также открытой архитектуре и программному коду. Микроконтроллер программируется при помощи языка Wiring (упрощенная версия C++) и среды разработки Arduino IDE.

Из линейки различных модификаций микроконтроллера была выбрана плата Arduino Nano 3.0, исходя из достаточного объема памяти, портов ввода-вывода, миниатюрных размеров и удобства работы. Также использовались следующие компоненты: модуль сотовой связи GSM SIM800L для передачи данных на геопортал, модули передачи данных через Ethernet и Wi-Fi, дисплей OLED SSD1306 для отображения текущих значений, линейный стабилизатор AMS1117 на 3.3 В, преобразователь логических уровней LogicLevelConverter, блок питания.

Основным элементом созданного устройства является модуль PMS7003 – универсальный цифровой датчик для измерения концентрации взвешенных частиц в воздухе компании Plantower [8]. В основе работы этого датчика лежит измерение рассеивания лазерного излучения на взвешенных частицах. С помощью встроенного микроконтроллера на основе физической модели рассеяния сферической, гомогенной, изотропной и немагнитной частицы в непоглощающей среде рассчитывается эквивалентный диаметр частиц и число частиц с разным диаметром на единицу объема. Датчик имеет цифровой последовательный интерфейс, по которому на микроконтроллер Arduino поступают измеряемые значения концентраций пыли.

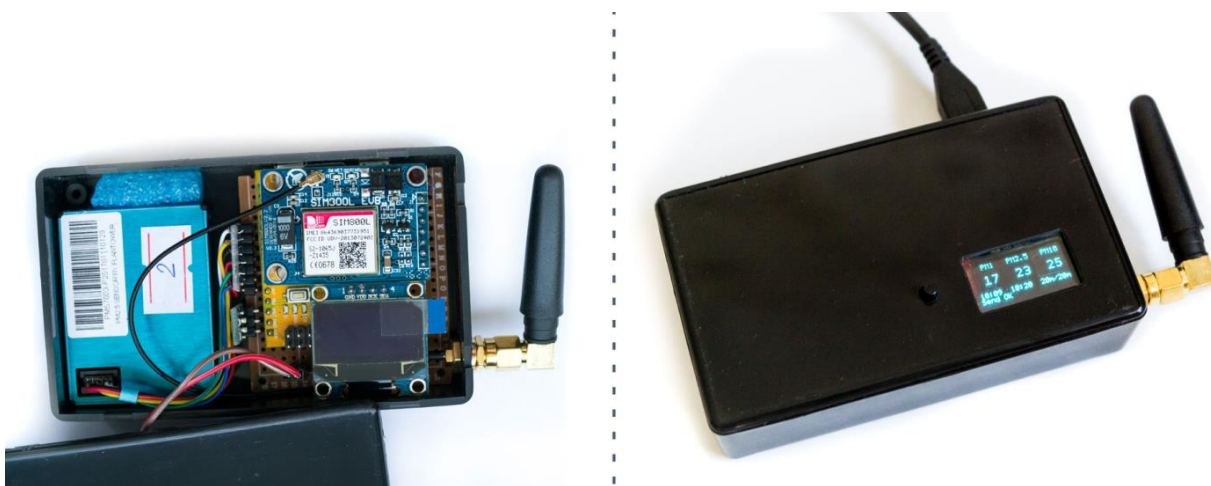


Рис. 2. Прототип прибора для измерения уровня загрязнения атмосферы мелкодисперсной пылью.

Разработанный прибор может работать в 2 режимах – пассивном и активном. В активном режиме датчик сам периодически выдает данные измерений. Он делится на два подрежима: стабильный и быстрый. Если концентрация взвешенных частиц будет небольшая, датчик будет работать в стабильном режиме с реальным интервалом обновления в 2.3 сек. В противном случае, датчик будет работать в быстром режиме с интервалом обновления 200-800 мс (чем выше концентрация – тем меньше интервал). В пассивном режиме данные выдаются только после предварительного запроса. Прибору необходим внешний источник питания, подключаемый через стандартный разъем микро-USB (рис. 2).

**Веб-интерфейс системы мониторинга загрязнения атмосферы.** Проектирование и разработка пользовательского интерфейса веб-ГИС мониторинга выполнялась на основе программных интерфейсов (API) геопортала ИВМ СО РАН, набора ранее разработанных инструментальных программных средств [9, 10]. Для дизайна экранных форм веб-приложения использовался механизм формирования динамического контента на основе шаблонов. Шаблоны позволяют изменять порядок и форму вывода атрибутивных данных по объектам в слоях карты, включая различные элементы стилового оформления – цвет, параметры шрифтов, и т.д. Разработанная система мониторинга находится в опытной эксплуатации.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Real-time Air Quality Index (AQI) [Электронный ресурс] / URL: <http://aqicn.org>, свободный. Загл. с экрана (дата обращения: 20.06.2017)
- [2] Геопортал ИВМ СО РАН [Электронный ресурс] / URL: <http://gis.krasn.ru>, свободный. Загл. с экрана (дата обращения: 20.06.2017)
- [3] Yakubailik O., Kadochnikov A., Tokarev A. Applied software tools and services for rapid web GIS development // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2015. [www.sgem.org](http://www.sgem.org), SGEM2015 Conference Proceedings, Book 2, Vol. 1, pp. 487-494.
- [4] Матвеев А.Г., Якубайлик О.Э. Проектирование и разработка программно-технологического обеспечения для геопространственных веб-приложений // Фундаментальные исследования. 2013. № 10, ч. 15, С. 3358-3362.
- [5] Кадочников А.А., Якубайлик О.Э. Разработка программных средств сбора и визуализации данных наблюдений для геопортала Института вычислительного моделирования СО РАН // Вестник НГУ. Информационные технологии. 2014. Т. 12. № 4. С. 23-31.
- [6] Кадочников А.А. Особенности построения геопространственных веб-приложений и сервисов для систем мониторинга состояния окружающей природной среды // Журнал СФУ. Серия «Техника и технологии». 2015. Т. 8, № 7, С. 908-916.
- [7] Якубайлик О.Э. Технологии формирования интерактивных тематических карт на геопортале // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2017. № 4. С. 23-28.
- [8] The Plantower PMS5003 and PMS7003 Air Quality Sensor experiment [Электронный ресурс]. 2015. URL: <http://aqicn.org/sensor/pms5003-7003>, свободный. Загл. с экрана (дата обращения: 20.06.2017).
- [9] Матушко А.К., Якубайлик О.Э. Разработка прикладных ГИС на основе технологий геопортала // Образовательные ресурсы и технологии, 2016, № 2(14), С. 202-209.
- [10] Yakubailik O. Geospatial services & Web GIS software for environmental monitoring problems // 16th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016, [www.sgem.org](http://www.sgem.org), SGEM2016 Conference Proceedings. 2016. Vol. 1, N 2, P. 657-664.