

УДК: 004.4:528.9

DOI: 10.35595/2414-9179-2021-2-27-205-217

А.А. Кадочников¹

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ СБОРА ДАННЫХ ДЛЯ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА В КРАСНОЯРСКОМ КРАЕ

АННОТАЦИЯ

Загрязнение атмосферного воздуха представляет угрозу для природной среды и здоровья людей. В России существует система федерального мониторинга атмосферного воздуха, обеспечивающая его оценку по ряду характеристик, а также дающая прогноз и предписания для органов власти. В России и во многих европейских странах помимо мониторинга качества атмосферного воздуха, осуществляемого федеральными организациями, осуществляется и общественный мониторинг, производимый независимыми организациями и заинтересованными гражданами. Общественный мониторинг и доступность простых средств для измерения качества воздуха в последние годы привело к возникновению альтернативной сети, позволяющей получить доступные и более детальные данные. Результаты измерений в упрощенной форме доступны большому числу людей, что вызывает широкий резонанс среди населения в ряде регионов страны.

В работе рассматривается задача разработки и поддержки специализированной системы для экологического мониторинга состояния природной среды и ресурсов, построенной на основе технологий ГИС, Интернет, обработки данных дистанционного зондирования (ДДЗ) и данных со стационарных и подвижных станций наблюдения. Существенное внимание уделяется веб-сервисам и программным интерфейсам. Рассматривается задача формирования геоинформационной веб-системы мониторинга состояния окружающей природной среды для систем поддержки принятия решений на уровне Красноярского края. Важную роль играет использование современных средств визуализации данных с использованием ГИС-технологий. Основное внимание уделяется описанию проблем и решений, связанных с разработкой веб-сервисов и приложений для таких Интернет-систем.

Решение задачи сбора, обработки и оперативной оценки данных о загрязнении атмосферного воздуха рассмотрено на примере Красноярского края и города Красноярска, попавшего в список наиболее загрязненных городов страны. Однако предложенное решение может быть использовано и в других городах и регионах.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГИС, веб-сервисы, система мониторинга, атмосферный воздух, данные наблюдения.

¹ Институт вычислительного моделирования СО РАН, Академгородок 50/44, 660036, Красноярск, Россия,
e-mail: scorant@icm.krasn.ru

Alexey A. Kadochnikov¹

DEVELOPMENT OF DATA COLLECTION SYSTEM FOR MONITORING THE ATMOSPHERIC AIR STATE IN KRASNOYARSK REGION

ABSTRACT

Air pollution is a threat to the natural environment and human health. In Russia, there is a federal monitoring system for atmospheric air, which provides its assessment for a number of characteristics, as well as provides a forecast and prescriptions for government. In Russia and in many European countries, in addition to monitoring the quality of atmospheric air carried out by federal organizations, public monitoring is also carried out by independent organizations and interested residents of settlements. Public monitoring and the availability of simple air quality measurement tools in recent years has led to the emergence of an alternative network that provides accessible and more detailed data. The measurement results in a simplified form are available to a large number of peoples, which causes a wide resonance among the population in a number of regions of the country.

The paper considers the task of developing and supporting a specialized system for environmental monitoring of the state of the natural environment and resources, built on the basis of GIS technologies, the Internet, processing remote sensing data and data from stationary and mobile observation stations. Considerable attention is paid to web services and APIs. The problem of the formation of a geoinformation web-system for monitoring the state of the natural environment for the decision-making support system at the level of the Krasnoyarsk region is considered. An important role is played by the use of modern data visualization tools using GIS technologies. The main focus is on describing the problems and solutions associated with the development of web services and applications for such Internet systems.

The solution to the problem of collecting, processing and efficiently assessing data on air pollution is considered on the example of the Krasnoyarsk region and the city of Krasnoyarsk, which is included in the list of the most polluted cities in the country. However, the proposed solution can be used in other cities and regions.

KEYWORDS: GIS, web-services, monitoring system, atmospheric air, observation data.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Красноярского края первые наблюдения за состоянием окружающей среды начались в 1950 году с изучения химического состава поверхностных вод в пунктах, расположенных в наиболее густонаселенных районах. Рост промышленного потенциала и освоение природных ресурсов дали дальнейший толчок в развитии сети наблюдений за состоянием окружающей среды и в 1965 году начались работы по изучению загрязнения воздушного бассейна в Красноярске².

Наблюдения за загрязнением атмосферного воздуха проводится в городе Красноярске на 8 стационарных постах подразделения ФГБУ «Среднесибирское УГМС» (аккредитованный территориальный Центр по мониторингу загрязнения окружающей среды), который работает в соответствии с требованиями РД 52.04.186-89. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха по городам края проводится по 27 вредным веществам

¹ Institute of Computational Modelling of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Akademgorodok 50/44, 660036, Krasnoyarsk, Russia, *e-mail*: scorant@icm.krasn.ru

² Территориального Центра по мониторингу загрязнения окружающей среды. Электронный ресурс: <http://meteo.krasnoyarsk.ru/Центрмониторинга/tabid/218/Default.aspx> (дата обращения 02.04.2021)

и осуществляется прогнозирование загрязнения атмосферного воздуха. Территориальный Центр регулярно информирует администрацию Красноярска и промышленные предприятия краевого центра о возникновении неблагоприятных метеорологических условий, способствующих накоплению вредных примесей в атмосферном воздухе, для дальнейшего принятия мер промышленными предприятиями по регулированию выбросов в атмосферу.

Однако для полноценной оценки состояния атмосферного воздуха и дальнейшего анализа причин и последствий недостаточно 8 стационарных постов федерального подразделения для города с населением более одного миллиона человек. Вместе с федеральной системой мониторинга в Красноярске и крае существует краевая ведомственная информационно-аналитическая система данных о состоянии окружающей среды Красноярского края (КВИАС). Эта система включает в себя подсистему мониторинга воздуха по данным 12 стационарных постов, 9 из которых находятся в Красноярске и его окрестностях. В последние годы в дополнение к федеральной и краевой системе появилось две системы общественного мониторинга и одна система на базе Федерального исследовательского центра «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (ФИЦ КНЦ СО РАН). В общей сумме в этих системах ведется мониторинг за атмосферным воздухом с десятков стационарных постов на территории города и края. Фрагмент карты с постами наблюдений на территории Красноярска и окрестности представлен на рисунке 1.

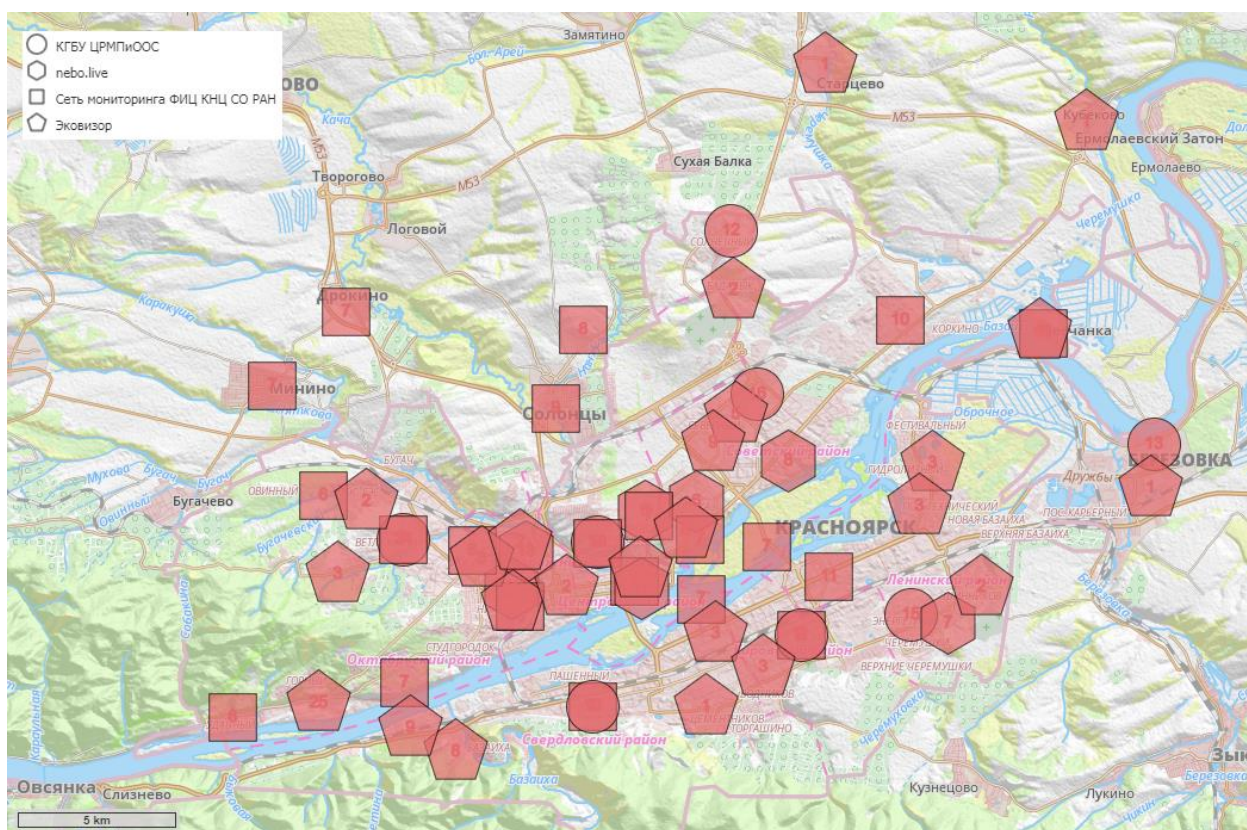


Рис. 1. Схема расположения постов наблюдений в Красноярске

Fig. 1. Scheme of observation posts in Krasnoyarsk

По данным Государственного доклада «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2019 году», опубликованного осенью 2020 года, в 2019 году уровень загрязнения Красноярска характеризуется как «высокий». Комплексный индекс

загрязнения атмосферы ИЗА₅ меньше 13, стандартный индекс (СИ) – 22,0 (по бенз(а)пирену), наибольшая повторяемость (НП) превышения ПДК_{м.р.} – 9,0 % (по формальдегиду). Основной вклад в уровень загрязнения внесли взвешенные вещества, диоксид азота, аммиак, формальдегид, бенз(а)пирен. В атмосфере города в 2019 г. зафиксированы случаи превышений: ПДК_{м.р.} по взвешенным веществам, оксиду углерода, диоксиду и оксиду азота, фенолу, фториду водорода, хлориду водорода, формальдегиду, ксилолу и этилбензолу¹.

Наиболее высокие значения СИ отмечались в холодное время года. Максимум был зафиксирован в январе (22,0). Теплый период года характеризовался высокими значениями НП (%), наибольшая повторяемость отмечалась в июне – 38,5 %.

В зимнее время в Красноярске периодически вводится режим неблагоприятных метеорологических условий (НМУ) на протяжении многих лет. Определение периода действия и категории режима НМУ находится в ведении Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, в обязанность которой входит оповещение предприятий о наступлении и завершении периода НМУ и категории режима НМУ. В соответствии со статьей 19 Федерального закона «Об охране атмосферного воздуха» № 96-ФЗ юридические лица, имеющие источники выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух, при получении прогнозов НМУ обязаны проводить мероприятия по уменьшению выбросов вредных (загрязняющих) веществ в атмосферный воздух.

Расширение сети мониторинга и сбор данных в единую систему позволит создать модель по прогнозированию загрязнений и значительно улучшить алгоритм по выявлению точечных источников загрязнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для анализа данных и создания модели по прогнозированию загрязнений атмосферного воздуха в крае важную роль играет система сбора оперативных данных наблюдения от различных веб-сервисов, станций наблюдения и датчиков [Yakubailik, 2018]. В рамках геопортала Института вычислительного моделирования СО РАН (ИВМ СО РАН), работа над которым ведется уже много лет, разработан блок для сбора, обработки и представления данных различных наблюдений со стационарных постов. Организован доступ к данным наблюдений с помощью стандартных средств геопортала, включающих набор веб-сервисов, экспорт, просмотр табличных данных и диаграмм, просмотр данных на картах с возможностью выбора временных интервалов и организован доступ с помощью общепринятых стандартов и технологий.

Уже несколько лет сотрудниками ИВМ СО РАН продолжается работа по поддержке и развитию системы сбора оперативной информации о состоянии атмосферного воздуха в городе Красноярск и Красноярском крае. Сбор оперативных данных для научных исследований и мониторинга состояния атмосферного воздуха осуществляется в единую систему «Данные оперативного мониторинга» Института вычислительного моделирования СО РАН (<http://sensor.krasn.ru/sc/>).

На начало 2021 года реализован сбор оперативных данных по атмосферному воздуху в Красноярском крае с нескольких источников и созданы следующие разделы:

- Система мониторинга состояния атмосферного воздуха ФИЦ КНЦ СО РАН.
- Подсистема мониторинга атмосферного воздуха КВИАС КГБУ «ЦРМПиООС».

¹ Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2019 году», Красноярск, 2020. Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края. Электронный ресурс: <http://www.mpr.krskstate.ru/envir/page5849/0/id/45884> (дата обращения 02.04.2021).

- Данные системы мониторинга ФГБУ «Среднесибирское УГМС».
- Оперативные данные метеонаблюдений СИН ОП.
- Данные проекта Krasnoyarsk.nebo.
- Данные проекта Эковизор.
- Данные с ряда метеостанций и беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

На старте создания системы данные об атмосферном воздухе загружались из федеральной и краевой сети постов наблюдения. Данные федеральной сети формируются на основе данных, полученных с сайта ФГБУ «Среднесибирское УГМС» (<http://meteo.krasnoyarsk.ru/>). Метеоданные, поступающие в реальном времени от автоматических станций, размещаются в единой системе с частотой 1–3 часа. Данные собираются по следующим показателям: атмосферное давление, влажность, направление ветра, скорость ветра, температура воздуха. Архив ведется с начала 2013 года. Данных по загрязняющим веществам в открытом доступе нет.

Данные краевой сети формируются из Краевой ведомственной информационно-аналитической системы о состоянии окружающей среды Красноярского края. Наблюдения за качеством атмосферного воздуха в Красноярском крае проводятся на 12 автоматизированных постах наблюдений (АПН). Большинство загружаемых данных по стационарным постам наблюдения на удаленном сервере формируются каждые 20 минут. Помимо метеоданных доступны данные по большому числу загрязняющих веществ, включая данные по содержанию взвешенных частиц.

Осуществляется сбор данных с собственной сети станций Федерального исследовательского центра «КНЦ СО РАН». Данные собираются с 24 постов с помощью API для доступа к данным устройств измерений автоматизированной информационной системы мониторинга качества воздуха. Интервал сбора данных для большинства приборов пять минут, для остальных одна минута. Приборы разработаны платформой «CityAir» (<https://cityair.io/>) и позволяют получать данные измерений содержания взвешенных веществ в атмосферном воздухе (PM_{2.5}, PM₁₀) и основные метеорологические параметры за исключением данных о ветре: температура, влажность и атмосферное давление.

Собираются данные двух общественных проектов. Данные проекта *Nebo community* (<https://nebo.live>), созданного активистами из Красноярска. И данные открытой экологической платформы «Российские зеленые», проект «Эковизор» (<http://online.russiangureens.ru>). Оба проекта осуществляют сбор с приборов данных измерений содержания взвешенных веществ в атмосферном воздухе PM_{2.5} и основных метеорологических параметров: температуру, влажность и атмосферное давление. Часть приборов проекта «Эковизор» оборудованы анемометрами, что позволяет получать информацию о ветре.

В среднем около двух раз в неделю сотрудниками лаборатории ФИЦ КНЦ СО РАН выполняются полеты с помощью квадрокоптера с датчиками метеоданных (температура, влажность, атмосферное давление) и датчиком концентрации мелкодисперсных взвешенных частиц PM_{2.5} над Красноярском и рекой Енисей. Полеты выполняются при погоде, позволяющей эксплуатацию БПЛА (отсутствие сильного ветра, осадков и ограничение по температуре воздуха). Полеты осуществляются вдоль и поперек русла реки Енисей на определенной высоте, а также проводятся измерения в вертикальном направлении на разных высотах в разных точках города. Дополнительно измеряются метеоданные, включая данные по ветру, в месте взлета БПЛА.

Разработана общая единая система с набором модулей для загрузки данных с перечисленных выше систем для дальнейшего доступа к этим данным. Общая схема сбора данных представлена на рисунке 2. Данные в систему поступают из различных архивов

(файлы, базы данных) при разовой загрузке, данные передаются от различных веб-сервисов и постов мониторинга, данные периодически загружаются по запросу от самой системы, данные загружаются с постов мониторинга и с БПЛА без возможности удаленной передачи данных по Интернет-каналу.

Недостатком существующей сети станций ФИЦ КНЦ СО РАН и станций общественных проектов для дальнейших научных исследований является отсутствие метеорологических данных по ветру (скорость и направление). В связи с этим был организован сбор метеорологических данных, включающих данные о ветре (скорость и направление). Была установлена на здании Института и организован сбор данных с сертифицированной метеостанции DAVIS Vantage Pro2, запущенной в эксплуатацию в 2020 году. Разработан комплекс новых модулей для сбора данных из различных открытых источников. На основе Python библиотеки PyVantagePro (<https://pyvantagepro.readthedocs.io/>), обеспечивающий низкоуровневый доступ к потоку данных с консоли метеостанции, разработан комплекс программ для сбора, настройки и калибровки данных. Необходимость в разработке возникла в связи с тем, что собственное программное обеспечение метеостанции работало только под операционной системой Windows и не позволяло напрямую загружать данные в нашу систему. Данные формируются с шагом раз в 10 минут и загружаются в систему раз в час.

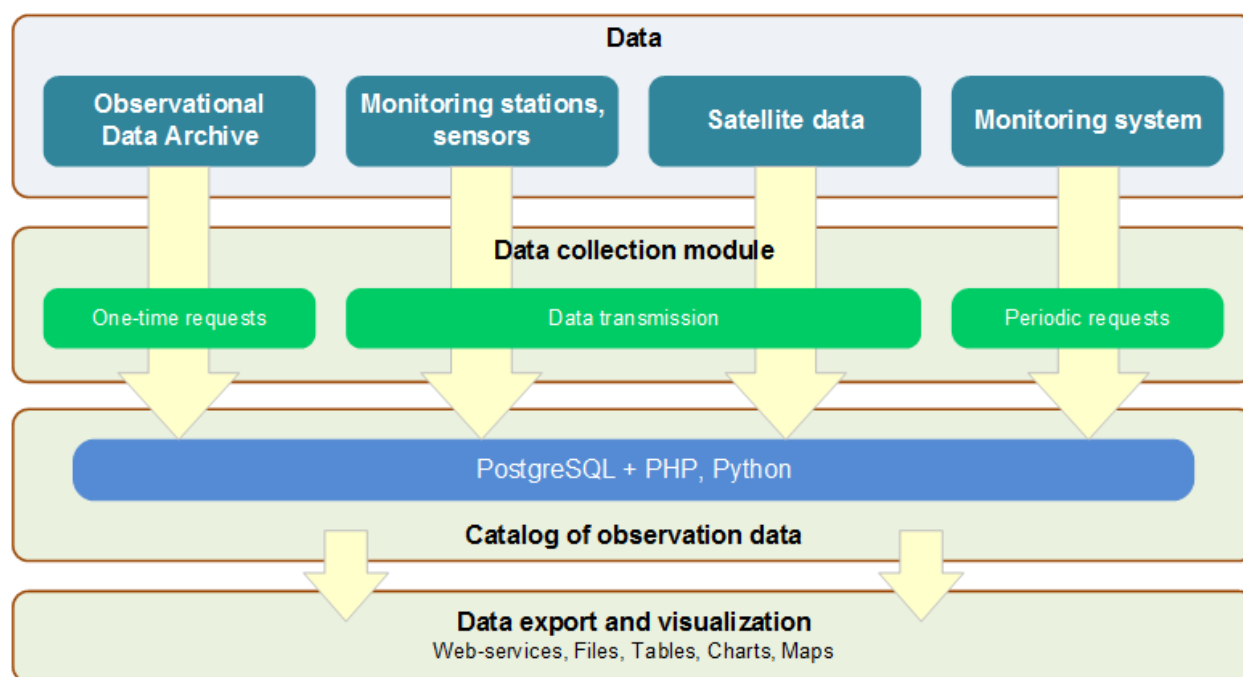


Рис. 2. Схема сбора данных наблюдений
Fig. 2. Observational data collection scheme

Для проведения Зимней универсиады 2019 в Красноярске была создана комплексная система ее метеорологического обеспечения, соответствующая требованиям международной федерации студенческого спорта (FISU), международных и общероссийских федераций по зимним видам спорта, а также уровню проведения подобных мероприятий. Точное определение текущей погоды на трассах осуществлялось с 11 автоматических метеорологических станций (АМС) производства Vaisala. АМС комплектовались широким набором датчиков, включающие данные по ветру. Данные от АМС поступали в 10-минутном режиме в Центр сбора данных наблюдений, расположенный в Среднесибирском УГМС (<http://www.meteorf.ru/press/news/18967/>).

Удалось организовать сбор этих данных на сервер сбора данных наблюдений ИВМ СО РАН. Для этого было разработано программное обеспечение, позволяющее оперативно получать метеоданные с этих станций. Данные можно получать только в онлайн режиме без возможности загрузить архив. В связи с этим был расширен набор инструментов системы для оперативного обнаружения проблем со сбором данных, т.к. при простое системы или отсутствия связи данные терялись. Доступ был организован к трем станциям с выносными модулями, что позволило получать метеорологическую информацию в 9 точках. Это станции на таких объектах, как Академия Биатлона, комплексы «Сопка» и «Радуга». Метеостанция в парке «Бобровый лог» на момент старта сбора данных уже не функционировала. Станция в кластере «Сопка» на данный момент также не работает. С остальных станции данные сохраняются. Данные собираются с шагом 10 минут.

Был организован сбор данных авиационных метеорологических кодов METAR (METeorological Aerodrome Report), используемых для обмена метеорологической информацией между метеорологическими подразделениями гражданской авиации. Разработан программный модуль для сбора таких данных на территории Красноярского края и Хакасии. Сводки в коде METAR содержат данные о скорости и направлении ветра, дальности видимости, атмосферных явлениях, облачности, температуре воздуха, точке росы, атмосферном давлении. Сводки в коде METAR используются пилотами во время предполетной подготовки в метеорологической службе аэродрома вылета, а также могут использоваться при комплексном анализе данных по атмосферному воздуху в Красноярске. Регулярные наблюдения на аэродромах доступны по региональному аэро-навигационному соглашению с шагом в 30 минут.

Разработан модуль для сбора оперативных данных метеонаблюдений FM-12 IX SYNOP, включающих данные о ветре, температуре воздуха, видимость и др. Данные загружаются с портала ЕСИМО (межведомственная информационная система для доступа к ресурсам морских информационных систем и комплексного информационного обеспечения морской деятельности). ЕСИМО разрабатывается в рамках Федеральной целевой программы «Мировой океан» Информация SYNOP собирается более чем 7600 пилотируемыми и автоматическими метеорологическими станциями и более чем 2500 подвижными станциями по всему миру и используется для прогнозирования погоды и климатической статистики. Данные собираются по метеостанциям на территории Красноярского края и соседних с ним регионам.

Дополнительно был разработан модуль для загрузки архивных данных метеонаблюдений по ряду метеостанций на территории Красноярского края за 20ый век. Данные были загружены из системы NOAA's National Centers for Environmental Information (NCEI), которая хранит и предоставляет открытый доступ к одному из самых больших архивов экологических данных (<https://gis.ncdc.noaa.gov/maps/ncei/cdo/hourly>). Набор данных Integrated Surface Dataset (ISD) состоит из наблюдений за приземной погодой со всего мира с более чем 35 000 станций. Включенные параметры: качество воздуха, атмосферное давление, температура / точка росы атмосферы, атмосферные ветры, облака, осадки, приливы и многое другое. ISD содержит данные в цифровой базе в формате, в котором хранятся ежечасные, синоптические (3-часовые) и ежедневные наблюдения за погодой. Формат данных соответствует Федеральным стандартам обработки информации (FIPS). ISD предоставляет доступ к данным, которые можно использовать в широком диапазоне климатологических приложений. Загруженный архив содержит данные за разные промежутки времени по всем доступным метеостанциям на территории Красноярского края.

Для изучения влияния работы Красноярской ГЭС на атмосферный воздух в городе Красноярск разработан модуль для сбора данных, передаваемых Красноярской ГЭС, включая данные по температуре воды и объемам водосброса. Модуль работает в пассивном режиме и загружает данные в нашу систему сбора данных наблюдений по запросу сервиса со стороны Красноярской ГЭС.

Дополнительно для ряда других научных исследований организован сбор некоторых наборов данных:

- ежедневные данные наблюдений на гидрологических постах в Красноярском крае;
- климатические данные GSOD на территорию Красноярского края;
- база данных ГИС мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли Красноярского края за 2009–2010 гг.;
- и др.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В рамках исследования уделено внимание проблеме, возникающей при разработке совместных проектов различных общественных организаций, научных институтов и подразделений органов власти, связанной с обменом данными и метаданными о пространственной информации, а также данными наблюдений за окружающей средой. Коллективом сотрудников Института вычислительного моделирования СО РАН разработана и развивается технология организации хранилища пространственной информации для более эффективного взаимодействия различных организаций. Разработаны программные средства для анализа пространственных данных в среде геопортала ИВМ СО РАН с использованием открытого программного обеспечения и технологий, предлагаемых международным консорциумом Open Geospatial Consortium (OGC) [Botts, 2006; Boulos, 2011].

При разработке инструментальных средств программные блоки были разбиты на несколько групп по способу загрузки и обработки данных из внешних источников:

1. Веб-сервисы – доступ к внешним данным организован с помощью веб-сервисов, которые позволяют получать информацию в структурированном виде, обычно в форматах json, xml или csv [Manuel, 2017]. Такие данные легко обрабатывать, т.к. существуют уже готовые библиотеки для работы с такими форматами данных и такие данные проще проверять на наличие ошибок [Schmitt, 2018]. Особым преимуществом является наличие дополнительных параметров у веб-сервиса, позволяющих применять некоторые фильтры при загрузке данных с ограничением по времени, постам, сенсорам и т.д. Однако не все сервисы имеют такие инструменты и в этом случае приходится решать задачу по хранению временных меток и разделению новой информации от загруженной ранее.

2. Служебные веб-сервисы – такие сервисы обычно используются мобильными платформами или различными веб-приложениями для обеспечения работы своего функционала в интерактивном режиме. Например, веб-сервисы для построения вывода табличных данных или создания графиков и диаграмм в веб-интерфейсе с использованием клиентских языков программирования, инструменты экспорта данных и др. Такие сервисы тоже можно использовать для извлечения данных [Azemov, 2016]. При этом необходимо разработать ряд инструментов для проверки и анализа таких данных: проверка изменения структуры данных, изменение внутренних идентификаторов, доступность сервиса, формат вывода данных, размерность данных и т.д.

3. Обычный веб-сайт – данные наблюдений формируются на сервере в виде статичной информации и представлены в формате html страницы Интернет-ресурса. Для извлечения таких данных требуется выполнять периодическую загрузку html страницы и

обычно нет возможности получить архив за определенный период времени, только текущие данные. Но бывают ресурсы, которые содержат данные не только за текущий момент, но и за последние сутки. Основной задачей при загрузке таких данных является анализ страницы с целью поиска некоторых опорных текстовых блоков, с помощью которых можно всегда найти необходимую информацию на странице. В таком случае из страницы извлекается определенный текстовый блок и выполняется его дальнейшая обработка. Упрощает задачу схожесть xml и html форматов, что позволяет работать с фрагментами страницы, как с xml документом, что существенно упрощает извлечение информации.

4. Станция со своими интерфейсами доступа к потоку данных. Обычно подключение к станции осуществляется по COM (интерфейс стандарта RS-232), USB (Universal Serial Bus) или Ethernet (пакетная технология передачи данных по Интернет сети) портам [Man Sing Wong, 2014], [Shifeng Fang, 2014]. Для извлечения таких данных используется программные модули, позволяющие напрямую работать с потоком данных из самого устройства. Обычно станции позволяют хранить некоторый объем данных за ограниченный период времени на внутреннем носителе и позволяют его выгрузить.

Общая схема сбора данных представлена на рисунке 3. В ряде случаев может использоваться комбинация из перечисленных групп, т.к. для работы некоторых служебных сервисов может понадобиться информация, содержащаяся в самой странице, для которой эти сервисы создавались. Отдельное внимание необходимо уделить целостности и структурным изменениям в данных. Для этого разрабатывается серия блоков проверки, включающая изменение количества датчиков и постов наблюдения, целостность и полноту переданных данных и др.

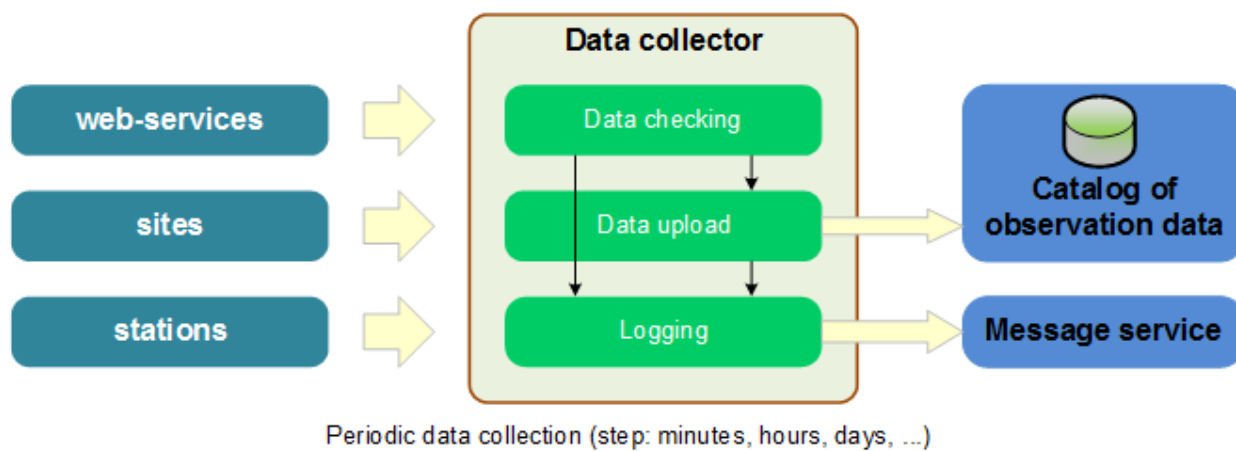


Рис. 3. Схема обработки поступающих данных мониторинга
 Fig. 3. Scheme processing incoming data monitoring

В связи с большим количеством постоянных источников данных и объемом самих данных, возникла необходимость в создании и дальнейшем развитии системы мониторинга загрузки и анализа ошибок в удобном виде для оперативного принятия решений и исправления ошибок. А также для отслеживания объема поступающих данных в систему. Для оперативной доработки программных модулей сбора данных созданы средства сбора текстовой информации о процессе работы модулей и инструменты оповещения оператора. Такие средства позволяют получать информацию об изменениях на удаленном ресурсе и его состоянии постоянно. Оперативно внося исправления в программный код, можно обеспечить целостность и корректность полученной информации. Системой формируется ежедневный отчет по работе системы сбора. Предусмотрен механизм информирования

оператора системы по электронной почте (рис. 4). Такое решение повышает качество инструментов и сервисов для разработки систем мониторинга окружающей природной среды и повышает стабильность и надежность работы системы в целом.

В системе разработан модуль для работы с данными различных беспилотных летательных аппаратов (БЛПА). Создан модуль для сбора официальных прогнозов погоды с федеральных и региональных ресурсов Служб по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды для текущих задач, связанных с полетами БЛПА, выполняемых сотрудниками ФИЦ «КНЦ СО РАН».

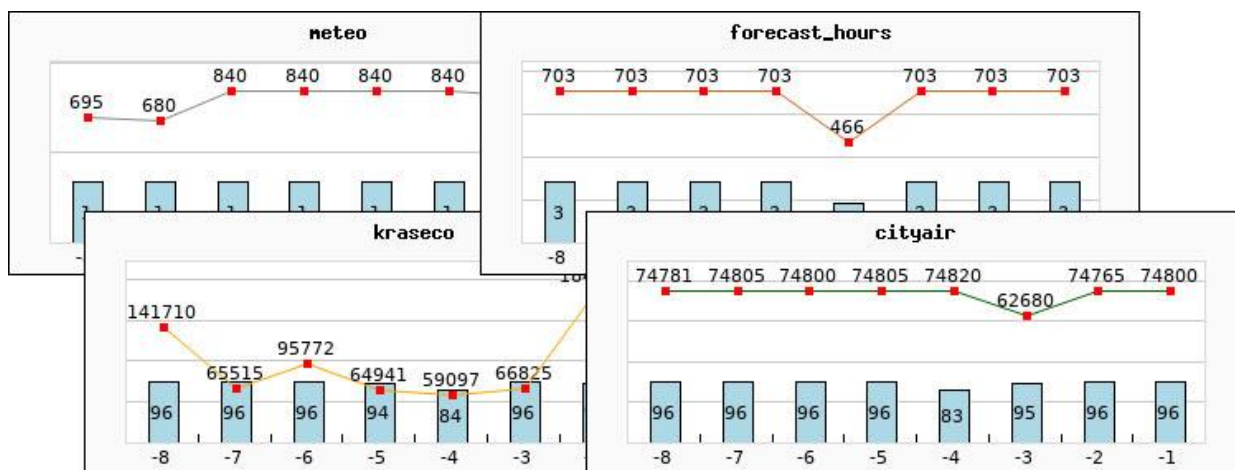


Рис. 4. Фрагмент отчета системы сбора данных
 Fig. 4. Fragment of the data collection system report

Сбор данных измерений содержания взвешенных веществ в атмосферном воздухе (PM_{2.5}, PM₁₀) и основных метеорологических параметров: температуры, влажности и атмосферного давления с приборов ФИЦ КНЦ СО РАН осуществляется на протяжении трех лет и в декабре 2019 был запущен сайт с оперативной информацией по состоянию атмосферного воздуха, доступный по адресу <http://air.krasn.ru/>.



Рис. 5. Посещаемость сайта проекта air.krasn.ru
 Fig. 5. Website traffic air.krasn.ru

На рисунке 5 представлена диаграмма посещаемости сайта. С момента первого запуска и до окончания зимы в 2020 году наблюдался интерес к сайту со стороны обычных пользователей. В основном это связано с установкой НМУ в городе Красноярск. Периоды режима НМУ в основном объявлялись в зимние месяцы. В 2020 году предупреждения были объявлены 10.01, 14.02, 17.02, 25.02, 27.04, 16.11, 27.11, 25.12, 29.12, 30.12¹.

На диаграмме посещаемости сайта проекта видно совпадение интереса со стороны пользователей к проекту в дни НМУ. Начиная с первого сентября 2020 года оперативные данные с сайта ежедневно в будние дни транслирует одна из телекомпаний города Красноярск в рубрике после вечерних новостей. Однако это никак не отразилось на посещаемости сайта.

Все данные наблюдений имеют пространственную привязку. Доступ к данным наблюдений из единой системы организован с помощью веб-сервисов, что позволяет использовать их в сторонних системах. Геопортал ИВМ СО РАН (<http://gis.krasn.ru/>) имеет встроенную поддержку веб-сервисов и набор инструментов для представления данных из нескольких источников на карте с инструментами для их анализа. С использованием веб-сервисов системы разработан ряд проектов с данными наблюдений, включая сайт с оперативной информацией об атмосферном воздухе в Красноярске и других городах и муниципальных образованиях Красноярского края (<http://air.krasn.ru/>). Инструменты экспорта в Microsoft Excel позволяют загружать данные за выбранный промежуток времени в исходном и агрегированном формате, что позволяет пользователям работать с данными в удобном для них программном обеспечении.

Приложения геоинформационной системы разработаны в архитектурных схемах «клиент – сервер» и «клиент – сервер приложений – сервер» с использованием реляционной СУБД с расширением для хранения и обработки пространственных данных [Song, 2010]. Интеграционные сервисы разработаны в соответствии с общепринятыми подходами на разработку веб-сервисов, работающих на принципах REST и SOAP.

В результате проведенных исследований и многолетнего опыта решение было построено на основе свободно распространяемых технологий и программного обеспечения:

- платформа для публикации картографических данных – MapServer 7 (<http://www.mapserver.org/>);
- основной язык разработки – PHP 7 (<http://www.php.net>) и Python 3 (<https://www.python.org/>);
- СУБД PostgreSQL 12 (<http://www.postgresql.org>) с расширением PostGIS 3.0 (<http://www.postgis.org>).

ВЫВОДЫ

Сегодня существует ряд систем для сбора и представления данных мониторинга атмосферного воздуха. Ряд проектов позволяет загружать данные с пользовательских устройств по заданному протоколу и затем просматривать их на общей карте. К таким проектам можно отнести немецкие проекты LuftDaten (<https://luftdaten.info>) и OpenSenseMap (<https://opensensemap.org/>), Российские проекты «Народный мониторинг» (<https://narodmon.ru/>), проект экологической группы «Челябинск, Дыши!» (<https://aircms.online/>, <https://chelbreathe.ru>). Другие проекты собирают данные со станций определенных производителей, например, проект “World Air Quality Index” (<https://www.waqi.com/>).

¹ Оповещение о наступлении НМУ в 2020 году на территории города. Электронный ресурс: <http://www.admkrsk.ru/citytoday/ecology/Pages/NMU.aspx> (дата обращения 01.04.2021)

aqicn.org/map/krasnoyarsk/ru/), включающий данные со станций по всему Миру. Существует «Единая информационная система мониторинга загрязнения атмосферного воздуха г. Красноярска» (<http://www.feerc.ru/uicem/krasnoyarsk/>) от научно-производственного объединения «Тайфун», объединяющая данные краевой и федеральной системы мониторинга в Красноярске, однако эта система частично не работает.

В работе было предложено решение, которое позволило собирать все данные в одном хранилище с возможностью дальнейшего анализа. Комплекс предлагаемых решений успешно зарекомендовал себя как программно-технологическая основа для информационно-аналитических систем регионального уровня. Рассмотренное решение может быть использовано не только для территории Красноярского края, но и в других городах и регионах. В начале апреля 2021 года между министерством экологии Красноярского края, Сибирским отделением РАН и общественными организациями было достигнуто соглашение о создании единой системы мониторинга атмосферного воздуха¹.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Azegov D.* Saint-Petersburg air pollution monitoring system. Environment of Saint-Petersburg, 2016. V. 2 (2). P. 8–14.
2. *Botts M., Percivall G., Reed C., Davidson J.* OGC® Sensor Web Enablement: Overview and High Level Architecture. In: Nittel S., Labrinidis A., Stefanidis A. (eds) GeoSensor Networks. GSN 2006. Lecture Notes in Computer Science. V. 4540. Springer, Berlin, Heidelberg.
3. *Kamel Boulos, Bernd Resch, David N Crowley, John G Breslin, Gunho Sohn, Russ Burtner, William A Pike, Eduardo Jezierski, Kuo-Yu Slayer Chuang.* Crowdsourcing, citizen sensing and sensor web technologies for public and environmental health surveillance and crisis management: trends, OGC standards and application examples. International Journal of Health Geographics, 2011. 10:67.
4. *Man Sing Wong, Tsan Pong Yip, Esmond Mok.* Development of a Personal Integrated Environmental Monitoring System. Sensors. 2014. V. 14. P. 22065–22081. DOI: 10.3390/s 141122065.
5. *Manuel A. Regueiro, José R.R. Viqueira, Christoph Stasch, José A. Taboada.* Semantic mediation of observation datasets through Sensor Observation Services. Future Generation Computer Systems. 2017. V. 67. P. 47–56.
6. *Schmitt R.H. and Voigtmann C.* Sensor information as a service – component of networked production. J. Sens. Syst. 2018. V. 7. P. 389–402.
7. *Shifeng Fang, Li Da Xu, Yunqiang Zhu, Jiaerheng Ahati, Huan Pei, Jianwu Yan, Zhihui Liu.* An Integrated System for Regional Environmental Monitoring and Management Based on Internet of Things. IEEE Transactions on Industrial Informatics, 2014. V. 10 (2). DOI: 10.1109/TII.2014.2302638.
8. *X. Song, C. Wang, M. Kagawa, V. Raghavan.* Real-time monitoring portal for urban environment using sensor web technology. 18th International Conference on Geoinformatics, Beijing, China, 2010. P. 1–5, DOI: 10.1109/GEOINFORMATICS.2010.5568192.
9. *Yakubailik O.E., Kadochnikov A.A., Tokarev A.V.* Web geographic information system and the hardware and software ensuring rapid assessment of air pollution. Optoelectronics, Instrumentation and Data Processin. 2018. V. 54 (3). P. 243–249.

¹ Портал Министерства экологии и рационального природопользования Красноярского края. Электронный ресурс: <http://www.mpr.krskstate.ru/presscentr/news/0/news/99643> (дата обращения 04.04.2021)

REFERENCES

1. *Azemov D.* Saint-Petersburg air pollution monitoring system. *Environment of Saint-Petersburg*, 2016. V. 2 (2). P. 8–14.
2. *Botts M., Percivall G, Reed C, Davidson J.* OGC® Sensor Web Enablement: Overview and High Level Architecture. In: *Nittel S., Labrinidis A., Stefanidis A. (eds) GeoSensor Networks. GSN 2006. Lecture Notes in Computer Science. V. 4540.* Springer, Berlin, Heidelberg.
3. *Kamel Boulos, Bernd Resch, David N Crowley, John G Breslin, Gunho Sohn, Russ Burtner, William A Pike, Eduardo Jezierski, Kuo-Yu Slayer Chuang.* Crowdsourcing, citizen sensing and sensor web technologies for public and environmental health surveillance and crisis management: trends, OGC standards and application examples. *International Journal of Health Geographics*, 2011. 10:67.
4. *Man Sing Wong, Tsan Pong Yip, Esmond Mok.* Development of a Personal Integrated Environmental Monitoring System. *Sensors*, 2014. V. 14. P. 22065–22081. DOI: 10.3390/s 141122065.
5. *Manuel A. Regueiro, José R.R. Viqueira, Christoph Stasch, José A. Taboada.* Semantic mediation of observation datasets through Sensor Observation Services. *Future Generation Computer Systems*, 2017. V. 67. P. 47–56.
6. *Schmitt R.H. and Voigtmann C.* Sensor information as a service – component of networked production. *J. Sens. Sens. Syst.*, 2018. V. 7. P. 389–402.
7. *Shifeng Fang, Li Da Xu, Yunqiang Zhu, Jiaerheng Ahati, Huan Pei, Jianwu Yan, Zhihui Liu.* An Integrated System for Regional Environmental Monitoring and Management Based on Internet of Things. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 2014. V. 10 (2). DOI: 10.1109/TII.2014.2302638.
8. *Song X., Wang C., Kagawa M., Raghavan V.* Real-time monitoring portal for urban environment using sensor web technology. 18th International Conference on Geo-informatics, Beijing, China, 2010. P. 1–5. DOI: 10.1109/GEOINFORMATICS. 2010. 5568192.
9. *Yakubailik O.E., Kadochnikov A.A., Tokarev A.V.* Web geographic information system and the hardware and software ensuring rapid assessment of air pollution. *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2018. V. 54 (3). P. 243–249.