

С. А. Чигридов¹, Е. Н. Кулик¹✉

HARMONY: архитектура геоинформационного сервиса мониторинга качества воздуха

¹Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
г. Новосибирск, Российская Федерация
e-mail: e.n.kulik@ssga.ru

Аннотация. В статье представлена архитектура геоинформационного веб-сервиса HARMONY, предназначенного для оперативного мониторинга качества атмосферного воздуха и микроклимата в городской среде на примере Ленинского района г. Новосибирска. Сервис объединяет данные стационарных базовых станций (БС), размещение которых планируется на объектах муниципальной инфраструктуры с учётом локальных климатических зон (LCZ), и мобильных станций (МС), устанавливаемых на общественном транспорте. Описан принцип полного цикла обработки данных: от сбора с датчиков, передачи через Wi-Fi в облачное хранилище (на этапе прототипа – Google Sheets), фильтрации и агрегации, построения локального поля ветра (с учётом рельефа и застройки), моделирования полей загрязнения, сохранения результатов в базу данных и их визуализации в веб-интерфейсе. Приведены фотографии прототипов станций, скриншоты веб-интерфейса и схема архитектуры.

Ключевые слова: веб-ГИС, архитектура геосервиса, локальные климатические зоны (LCZ), мобильный мониторинг, поле ветра, интерполяция, TimescaleDB, PostGIS

S. A. Chigridov¹, E. N. Kulik¹✉

HARMONY: Architecture of a Geographic Information Service for Air Quality Monitoring

¹Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: e.n.kulik@ssga.ru

Abstract. The article presents the architecture of the HARMONY: geoinformation web service, designed for operational monitoring of air quality and microclimate in an urban environment using the example of the Leninsky district of Novosibirsk. The service combines data from stationary base stations (BS), which are planned to be located at municipal infrastructure facilities in accordance with Local Climatic Zones (LCZ), and mobile stations (MS) installed on public transport vehicles. The principle of a full data processing cycle is described: from sensors' collection, transmission via Wi-Fi to cloud storage (at the prototype stage – Google Sheets), filtering and aggregation, building a local wind field (taking into account terrain and buildings), modeling pollution fields, saving the results to a database and visualizing them on the web-interface. Photos of station prototypes, screenshots of the web interface, and an architecture diagram are provided.

Keywords: web-GIS, geoservice architecture, Local Climate Zones (LCZ), mobile monitoring, wind field, interpolation, TimescaleDB, PostGIS

Введение

Современные города нуждаются в детальных пространственных данных о качестве воздуха и микроклимате на уровне кварталов и улиц. Спутниковые си-

стемы (MODIS, Landsat, Sentinel-5P) не получают характеристики–непосредственно приземного слоя воздуха на высоте 1–3 м. Наземные посты наблюдений редки и не отражают пространственной неоднородности загрязнения. В статье представлена архитектура геоинформационного сервиса HARMONY, проектируемого для заполнения этого пробела (рис. 1). Исследование выполнено на территории Ленинского района г. Новосибирска – крупного промышленного района со сложной структурой застройки.

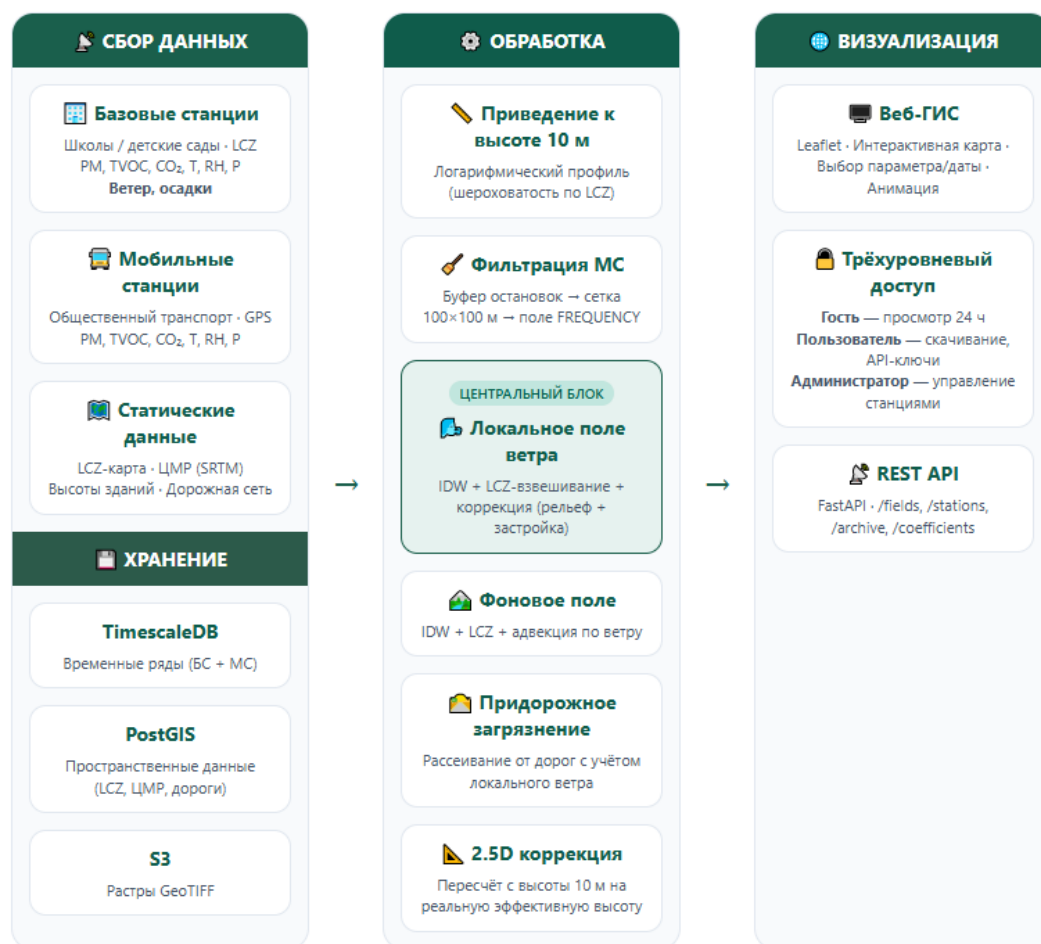


Рис. 1. Архитектура геоинформационного сервиса HARMONY

Материалы и методы

В основе сервиса лежат два типа источников. Базовые станции (БС) предполагается разместить на муниципальных объектах (школы, детские сады) согласно LCZ-карте (рис. 2) [1-3]. Они будут измерять фоновые значения температуры, влажности, давления, PM, TVOC, CO₂-экв., а также скорость и направление ветра, уровень осадков. Мобильные станции (МС) устанавливаются на общественном транспорте и измеряют те же параметры (кроме ветра), фиксируя GPS-координаты пункта измерений. На текущий момент разработаны и испытаны прототипы БС и МС (рис. 3, 4). Проведён тестовый сбор данных с МС (автомобильный трек по Ленинскому району). Статические данные включают LCZ-карту (построенную с использованием сервиса LCZ-Generator), цифровую мо-

дель рельефа (SRTM) и аппроксимированные высоты зданий по LCZ-классам. В перспективе планируется подключение спутниковых данных Sentinel-5P (TROPOMI) для оценки фоновых концентраций и определения режимов образования приземного озона по методологии Крупновой и др. [4].

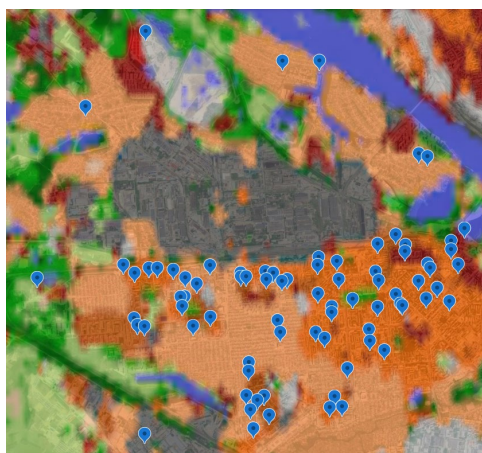


Рис. 2. Пространственное распределение зданий муниципальных объектов

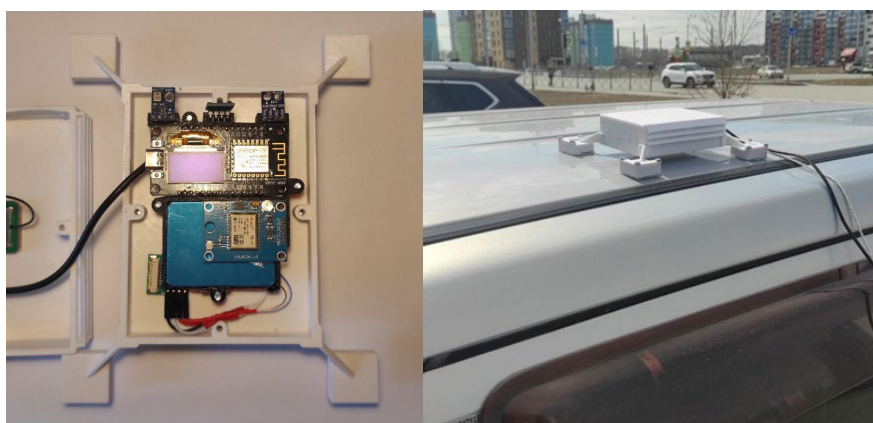


Рис. 3. Прототип мобильной станции



Рис. 4. Прототип базовой станции

На этапе прототипа данные с БС и МС через Wi-Fi отправляются в облачное хранилище Google Sheets (HTTP POST, JSON). Это позволяет оперативно отслеживать работу станций и накапливать первичные данные для отработки алгоритмов. В рабочей версии сервиса предусмотрена прямая отправка данных на сервер с записью в геоинформационную базу данных, организованную на базе TimescaleDB (временные ряды измерений с возможностью архивации) и PostGIS (статические пространственные данные: LCZ-карта, ЦМР, координаты станций, дорожная сеть).

Сырые данные с мобильных станций содержат артефакты, связанные с зонами остановочных пунктов общественного транспорта (автобус выходит из транспортного потока, датчики фиксируют собственные выхлопы). Разработан алгоритм фильтрации: удаление измерений в точках, расположенных в буферной зоне остановочных пунктов, агрегация по регулярной сетке 100×100 м, усреднение параметров внутри каждой ячейки и добавление поля FREQUENCY (количество записей измерений в ячейке сетки). Алгоритм подробно описан в отдельной работе авторов [5].

Построение карт направления и скорости ветра по измерениям с БС является центральным блоком обработки, поскольку поле ветра служит единой основой для моделирования концентраций примесей, температуры и влажности. Векторы ветра со всех БС раскладываются на зональную (u) и меридиональную (v) компоненты, после чего каждая компонента интерполируется на сетку 100×100 м методом обратных взвешенных расстояний (IDW) с LCZ-взвешиванием: вес i -й БС увеличивается, если её LCZ-класс совпадает с LCZ-классом расчётной ячейки, и уменьшается в противном случае. Значения корректируются с учётом рельефа (экспозиция склонов по данным SRTM) и высотности застройки.

На основе построенного поля ветра и агрегированных данных МС и БС формируются карты распределения концентраций загрязняющих веществ. При этом учитываются: локальная скорость и направление ветра, извлекаемые из расчетов регулярной сетки; тип застройки (LCZ), влияющий на параметры рассеивания; цифровая модель рельефа (SRTM), корректирующая направление и скорость ветра с учётом орографии.

Способ объединения данных от БС и МС в единую карту концентраций находится на стадии экспериментальной верификации. На этапе проектирования анализировались прогностические модели CALINE3 [6], R-LINE [7] и AERMOD [8], однако их применение требует знания мощности выброса ($\text{г/с} \cdot \text{м}$), а не измеренной концентрации (мкг/м^3), что меняет подход к интерпретации и анализу данных [9]. В представленной архитектуре предусмотрена возможность подключения любого из рассмотренных вычислительных модулей без рефакторинга смежных компонентов.

Построенные растры полей концентраций загрязнителей и метеопараметров сохраняются в S3-совместимом объектном хранилище, их метаданные — в PostGIS [10, 11]. Веб-карта реализована на библиотеке Leaflet с возможностью выбора визуализируемого параметра, даты и времени, а также анимации суточ-

ного хода [12]. Предлагается трёхуровневая модель доступа: гость (просмотр анимированных карт за последние сутки наблюдений), зарегистрированный пользователь (скачивание CSV/GeoTIFF, API-ключи, настройка оповещений), администратор (управление станциями, контроль работы сервиса) (рис. 5-8) [13].

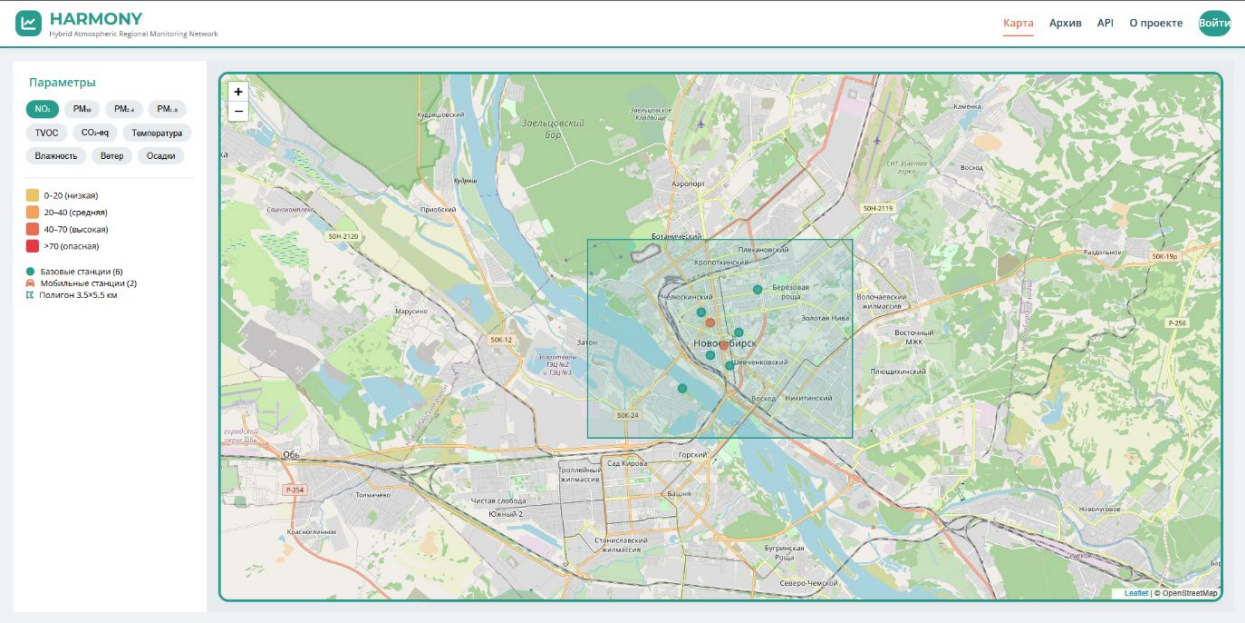


Рис. 5. Главная страница веб-сервиса (макет)

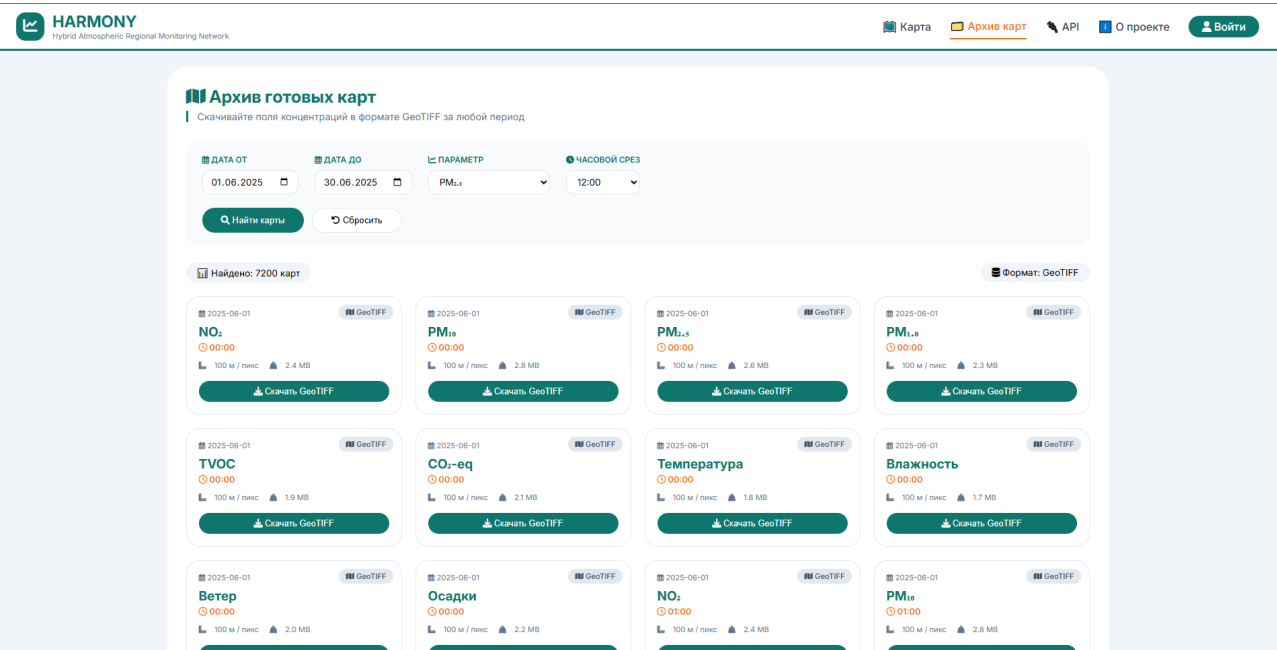


Рис. 6. Архивная страница (макет)

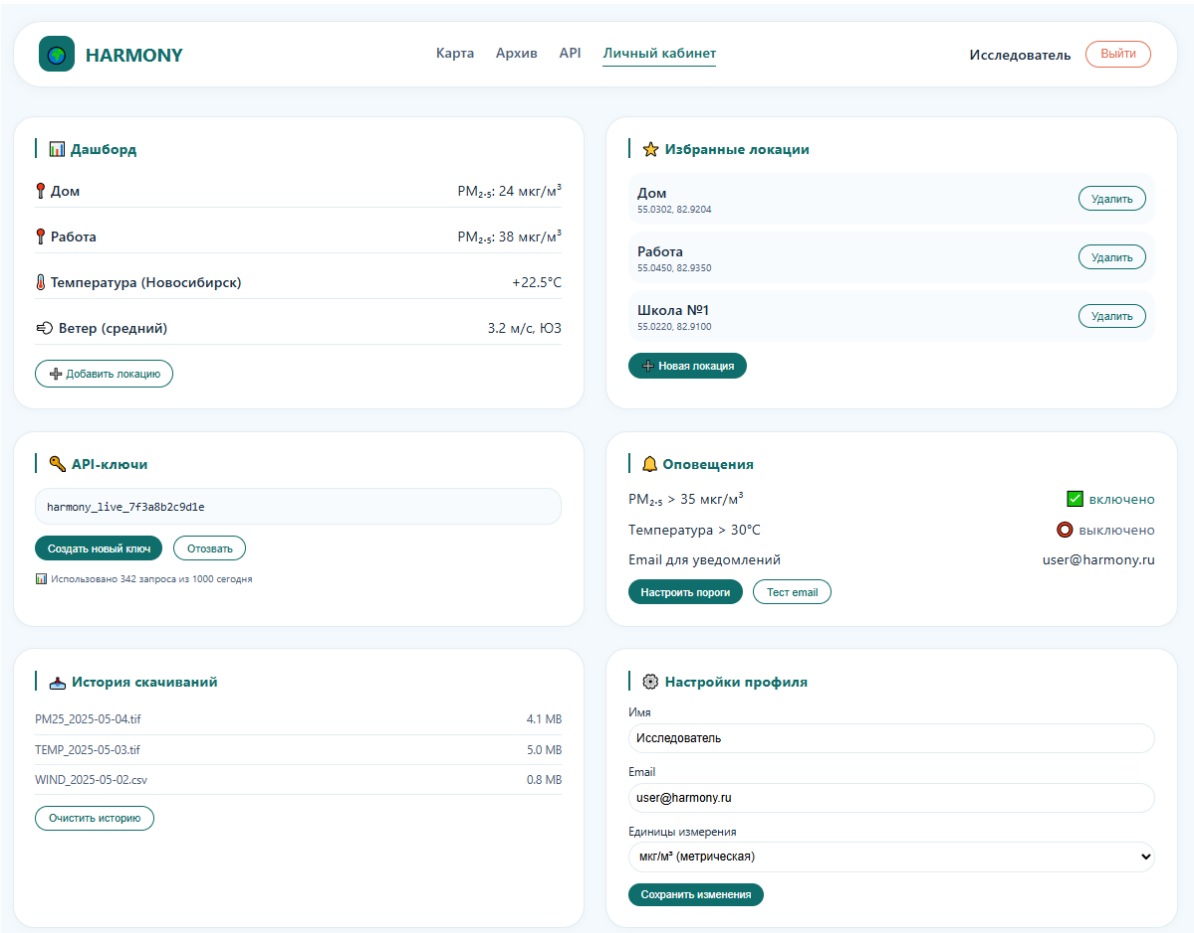


Рис. 7. Личный кабинет пользователя

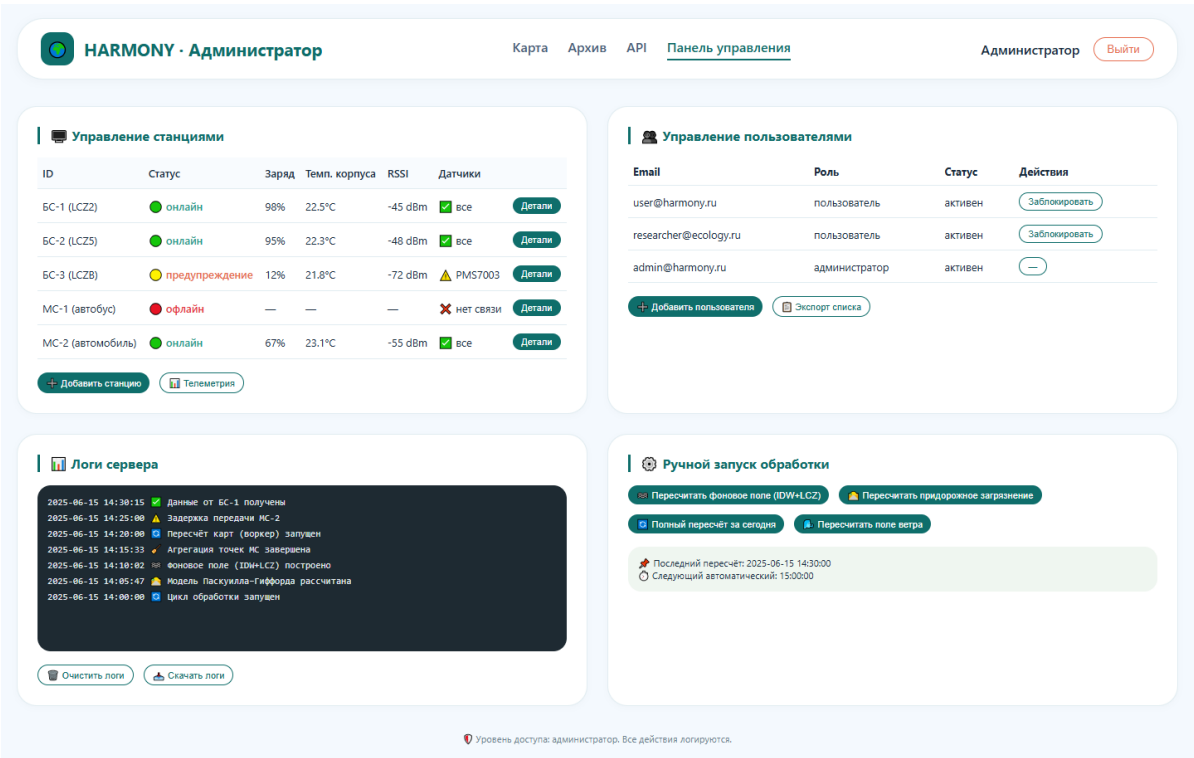


Рис. 8. Кабинет администратора

Результаты и обсуждение

Разработана архитектура геоинформационного сервиса HARMONY, охватывающая полный цикл обработки данных: сбор с датчиков БС и МС, передача (Google Sheets в прототипе, прямая отправка на сервер в промышленной версии), фильтрация и агрегация данных МС, построение локального поля ветра на основе данных БС с учётом рельефа и застройки (LCZ), моделирование полей загрязнения с учётом ветра, застройки и рельефа, хранение растров в S3 и метаданных в PostGIS, визуализация в веб-интерфейсе на Leaflet. Определены технологии хранения (TimescaleDB для временных рядов, PostGIS для пространственных данных), предложена трёхуровневая модель доступа (гость, пользователь, администратор), разработаны макеты веб-интерфейса (главная страница, архив, личный кабинет, админ-панель). Достоверность предложенного подхода (включая построение локального поля ветра и основанные на нём карты загрязнения, температуры и влажности) будет проверена после развёртывания полной сети станций и накопления достаточного объёма натурных данных.

Заключение

В работе представлена архитектура геоинформационного сервиса HARMONY, охватывающая полный цикл обработки данных. Ключевые результаты: определена структура источников данных (БС, МС, статические данные); описаны принципы конвейера обработки (фильтрация, агрегация, расчеты поля ветра, создание и визуализация карт загрязнения); выбраны технологии хранения (TimescaleDB, PostGIS, S3); создан макет веб-интерфейса с трёхуровневой моделью доступа. Дальнейшие исследования будут направлены на выбор оптимального метода объединения данных базовых и мобильных станций для построения итоговых интегральных и/или динамических карт загрязнения, а также на накопление натурных данных для верификации алгоритмов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Чигридов С. А., Кулик Е. Н. Использование принципов локальных климатических зон мегаполиса для оптимизации сети мониторинга атмосферного воздуха // Вестник СГУГиТ. – 2026. (в печати).
2. Stewart I.D., Oke T.R. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies // Bulletin of the American Meteorological Society. 2012. Vol. 93. No. 12. P. 1879–1900.
3. Demuzere M., Kittner J., Bechtel B. LCZ Generator: A Web Application to Create Local Climate Zone Maps // Frontiers in Environmental Science. 2021. Vol. 9. 637455.
4. Крупнова Т.Г., Ракова О.В., Стручкова Г.П., Капитонова Т.А., Тихонова С.А., Выходцева Е.А., Кочегоров В.М. Обнаружение возможности оценки режимов образования приземного озона на основе данных дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 5. С. 385–397.
5. Чигридов С.А., Кулик Е.Н. HARMONY: мобильная станция экологического мониторинга на базе общественного транспорта // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XXII Международный научный конгресс 20–21 мая 2026 г., Новосибирск: сборник материалов: Круглый стол «Исследования и мониторинг природных ресурсов и состояния окружающей среды» (в печати).

6. Benson P.E. CALINE3 — A Versatile Dispersion Model for Predicting Air Pollutant Levels Near Highways and Arterial Streets. California Department of Transportation, 1989.
7. Snyder M.G., Heist D.K., et al. R-LINE: A Line Source Dispersion Model for Near-Surface Releases. US EPA, 2013.
8. Cimorelli A.J., Perry S.G., et al. AERMOD: A Dispersion Model for Industrial Source Applications. US EPA, 2005.
9. Turner D.B. Workbook of Atmospheric Dispersion Estimates: An Introduction to Dispersion Modeling. CRC Press, 1994.
10. PostGIS documentation [Электронный ресурс] // PostGIS. – URL: <https://postgis.net/> (дата обращения: 18.05.2026).
11. TimescaleDB documentation [Электронный ресурс] // Timescale. – URL: <https://docs.timescale.com/> (дата обращения: 18.05.2026).
12. Leaflet — an open-source JavaScript library for interactive maps [Электронный ресурс] // Leaflet. – URL: <https://leafletjs.com/> (дата обращения: 18.05.2026).
13. FastAPI documentation [Электронный ресурс] // FastAPI. – URL: <https://fastapi.tiangolo.com/> (дата обращения: 18.05.2026).

© С. А. Чигридов, Е. Н. Кулик, 2026