Филиал «Назарбаев Интеллектуальная школа естественно-математического направления
района Нура города Астаны»

Мусина Инара, ученица 10E класса
Муратова Амина, ученица 10F класса

НАУЧНЫЙ ПРОЕКТ
«Система мониторинга окружающей среды ATMO»

Секция: «Экология»

Руководитель: Жетписбаева Асель Ерболовна

Астана, 2026 год

АҢДАТПА

АТМО жобасы «Экология» секциясы бойынша орындалды және ауа райы мен экологиялық факторлардың метеосезімтал адамдардың, соның ішінде қанайналым жүйесі, тыныс алу мүшелері аурулары және басқа да созылмалы жағдайлары бар пайдаланушылардың көңіл-күйі мен күнделікті белсенділігіне ықпалын зерттеуге бағытталған. Зерттеудің мақсаты - қоршаған ортаның жергілікті көрсеткіштерін пайдаланушының денсаулық ерекшеліктерімен бірге талдап, нақты жекелендірілген ұсынымдар беретін мониторинг жүйесін әзірлеу және тексеру. Гипотеза бойынша, қоршаған ортаны өздігінен өлшеу нәтижелерін денсаулық профилімен біріктіру пайдаланушыға қолайсыз жағдайларға күнделікті белсенділігін уақытылы бейімдеуге мүмкіндік береді. Жұмыс барысында ғылыми және статистикалық дереккөздер талданды, қолданыстағы шешімдер зерттелді, ESP32 негізіндегі IoT-құрылғы жобаланып жиналды, температура, ылғалдылық, қысым, жарықтану, жауын-шашын және ауа күйін бағалайтын датчиктер қосылды, ThingSpeak арқылы деректерді жіберу және пайдаланушы интерфейсі әзірленді. Эксперимент әдістемесі сенсорларды функционалдық сынауды, өлшеулер мен деректер берудің тұрақтылығын тексеруді және жергілікті көрсеткіштерді бақылау деректерімен салыстыруды қамтыды. АТМО-ның жаңалығы - авторлар әзірлеген көппараметрлі жергілікті құрылғыны, нақты уақыттағы мониторингті және денсаулық ерекшеліктерін ескеретін жекелендірілген талдауды бір жүйеде біріктіру. Нәтижесінде ұсынылған тәсілдің техникалық жүзеге асырылуын көрсеткен жұмыс істейтін прототип жасалды. Жүйені метеосезімтал адамдарға ақпараттық-профилактикалық қолдау көрсету және болашақта тұрғын аудандарда, білім беру және медициналық мекемелерде, сондай-ақ қалалық инфрақұрылымда жергілікті экологиялық мониторинг жүргізу үшін қолдануға болады.

АННОТАЦИЯ

Проект АТМО выполнен в секции «Экология» и посвящён влиянию погодных и экологических факторов на самочувствие метеочувствительных людей, в том числе пользователей с заболеваниями системы кровообращения, органов дыхания и другими хроническими состояниями. Цель исследования: разработать и проверить систему персонализированного мониторинга окружающей среды, которая анализирует локальные погодные и экологические показатели совместно с индивидуальными особенностями здоровья пользователя и формирует конкретные рекомендации. Гипотеза состоит в том, что сочетание собственных измерений среды и персонального профиля здоровья позволит человеку своевременнее адаптировать повседневную активность к неблагоприятным условиям. Работа включала анализ научных и статистических источников, изучение существующих решений, проектирование и сборку IoT-устройства на базе ESP32 , подключение датчиков температуры, влажности, давления, освещённости, осадков и состояния воздуха, настройку передачи данных в ThingSpeak и разработку пользовательского интерфейса. Методика эксперимента предусматривала функциональное тестирование сенсоров, проверку стабильности регистрации и передачи данных , а также сопоставление локальных измерений с контрольными источниками. Новизна АТМО заключается в объединении разработанного авторами локального многопараметрического устройства, мониторинга в реальном времени и персонализированного анализа с учётом здоровья пользователя. В результате создан функционирующий прототип, подтвердивший техническую реализуемость предложенного подхода. Система может применяться для информационно-профилактической поддержки метеочувствительных людей и, в перспективе, для локального экологического мониторинга в жилых районах,образовательных и медицинских учреждениях и городской инфраструктуре.

ABSTRACT

The ATMO project was developed within the “Ecology” section and focuses on the influence of weather and environmental factors on weather-sensitive people, including users with cardiovascular, respiratory and other chronic conditions. The aim of the study is to develop and test a personalized environmental monitoring system that analyzes local weather and environmental parameters together with individual health characteristics and provides specific recommendations. The hypothesis is that combining locally measured environmental data with a personal health profile can help users adapt their daily activities to unfavorable conditions in a more timely manner. The work included an analysis of scientific and statistical sources, a review of existing solutions, the design and assembly of an ESP32-based IoT device, connection of sensors for temperature, humidity, atmospheric pressure, illumination, precipitation and air conditions, configuration of data transmission to ThingSpeak, and development of a user interfacee. The experimental procedure included functional sensor testing, evaluation of measurement and data-transfer stability, and comparison of local measurements with control sources. The novelty of ATMO lies in integrating an author-developed multiparameter local device , real-time monitoring and personalized interpretation based on the user’s health profile within one system. As a result, a functioning prototype was created, confirming the technical feasibility of the proposed approach. The system can be used for preventive informational support of weather-sensitive people and,in the future, for local environmental monitoring in residential areas, educational and medical institutions, and urban infrastructure.

ОГЛАВЛЕНИЕ

АҢДАТПА....2
АННОТАЦИЯ....3
ABSTRACT....4
Введение....6
Актуальность исследования....6
Цель и задачи работы....6
Методы исследования....7
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ....8
Глава 1. Аналитический обзор проблемы влияния окружающей среды на здоровье человека....8
1.1. Метеорологические и экологические факторы как факторы воздействия на организм человека....8
1.2. Актуальность проблемы для Казахстана и Центральной Азии....9
1.3. Необходимость локального мониторинга....10
1.4. Анализ существующих цифровых решений....11
1.5. Цель и гипотеза исследования....11
Глава 2. Методы решения поставленной задачи....12
2.1. Общая архитектура системы ATMO....12
2.2. Аппаратная часть системы....12
2.3. Передача и визуализация данных....14
2.4. Принцип персонализации рекомендаций....14
2.5. Методика экспериментальной проверки....15
Глава 3. Результаты работы и их обсуждение....16
3.1. Результаты создания прототипа....16
3.2. Результаты локального мониторинга....16
3.3. Результаты проверки персонализации....17
3.4. Обсуждение результатов....18
Глава 4. Иллюстративные материалы....19
Заключение....20
Список использованных источников и литературы....21

Введение

Актуальность исследования

Состояние окружающей среды и погодные условия являются факторами, способными влиять на самочувствие человека. Изменения температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, уровня освещённости, наличие осадков и ухудшение качества воздуха могут быть особенно значимы для метеочувствительных людей, а также для людей с заболеваниями сердечно-сосудистой системы, органов дыхания и другими состояниями, при которых организм более чувствителен к изменениям внешней среды. В связи с этим своевременное получение информации не только о прогнозе погоды, но и о фактических условиях в конкретной местности приобретает практическое значение для сохранения здоровья и планирования повседневной активности.

Эта проблема особенно значима для стран Центральной Азии, в том числе Казахстана, для которых характерен резко континентальный климат со значительными сезонными и суточными колебаниями температуры и других метеорологических показателей. При этом погодные условия могут заметно различаться даже между отдельными районами одного города. Стандартные погодные сервисы преимущественно используют данные метеорологических станций, спутниковые наблюдения и расчётные модели, поэтому отображаемая информация не всегда полностью характеризует микроклимат непосредственно в месте нахождения пользователя. Для метеочувствительного человека подобное расхождение может затруднять своевременную адаптацию к изменению окружающих условий.

В ходе предварительного исследования нами были изучены материалы о влиянии метеорологических и экологических факторов на здоровье человека, а также проанализированы существующие погодные приложения и системы мониторинга качества воздуха. Проведённый анализ показал необходимость решения, которое объединяло бы собственную локальную систему измерений, получение данных в реальном времени и их персонализированный анализ с учётом особенностей здоровья конкретного пользователя.

Для решения данной проблемы нами разработан проект ATMO, систему локального мониторинга окружающей среды. Она состоит из собственного IoT-устройства и цифрового пользовательского интерфейса. Устройство на базе ESP32 получает данные с комплекса датчиков, характеризующих температуру, влажность, атмосферное давление, освещённость, наличие осадков и состояние воздуха, после чего передаёт полученные показатели через сеть в цифровую систему. ATMO не ограничивается отображением измеренных значений: система анализирует текущие условия окружающей среды совместно с указанными пользователем особенностями здоровья и на этой основе формирует персонализированные рекомендации , например относительно целесообразности пребывания на улице, выбора подходящего времени для активности и необходимости учитывать определённые неблагоприятные факторы.

Цель и задачи работы

Цель исследования: разработать и экспериментально проверить прототип системы ATMO для локального мониторинга погодных и экологических условий и формирования персонализированных рекомендаций для метеочувствительных людей с учётом индивидуальных особенностей их здоровья.

Для достижения поставленной цели нами были определены следующие задачи:

1. изучить влияние основных погодных и экологических факторов на самочувствие метеочувствительных людей и людей с заболеваниями сердечно-сосудистой системы и органов дыхания;
2. проанализировать существующие погодные и экологические цифровые решения и определить их функциональные ограничения;
3. разработать и собрать собственное устройство локального мониторинга окружающей среды на базе ESP32 и комплекса датчиков;
4. организовать получение, обработку и передачу показателей в реальном времени в облачную систему и пользовательский интерфейс;
5. разработать механизм анализа условий окружающей среды с учётом индивидуального профиля здоровья пользователя и формирования персонализированных рекомендаций;
6. провести экспериментальное тестирование работы прототипа и оценить стабильность получения и передачи данных

Методы исследования

В работе применялись аналитический, сравнительный, экспериментальный и инженерно-проектный методы. На теоретическом этапе проводился анализ научных и статистических материалов,посвящённых влиянию погодных и экологических факторов на здоровье человека, а также сравнительный анализ существующих цифровых решений. На практическом этапе осуществлялись проектирование электронной схемы, подбор и подключение датчиков, программирование микроконтроллера ESP32,создание корпуса и разработка пользовательского интерфейса. Экспериментальная часть включала многократное снятие показаний датчиков при изменении условий окружающей среды, проверку корректности их регистрации, стабильности работы устройства и передачи данных через Wi-Fi в облачную среду ThingSpeak. Полученные результаты использовались для дальнейшей разработки алгоритма, связывающего параметры окружающей среды с индивидуальными особенностями здоровья пользователя.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ РАБОТЫ

Глава 1. Аналитический обзор проблемы влияния окружающей среды на здоровье человека

1.1. Метеорологические и экологические факторы как факторы воздействия на организм человека

Организм человека постоянно взаимодействует с окружающей средой и поддерживает относительное постоянство внутренней среды посредством механизмов гомеостаза. Изменение температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, интенсивности солнечного излучения, а также качества атмосферного воздуха изменяет условия, в которых функционируют системы терморегуляции, кровообращения и дыхания. Для большинства здоровых людей умеренные изменения внешней среды компенсируются физиологическими механизмами адаптации, однако при наличии хронических заболеваний или повышенной метеочувствительности диапазон комфортной адаптации может быть ограничен.

Одним из наиболее изученных факторов является температура воздуха. При высокой температуре организм усиливает теплоотдачу за счёт расширения периферических сосудов и потоотделения, вследствие чего возрастает нагрузка на механизмы терморегуляции и сердечно-сосудистую систему. Всемирная организация здравоохранения отмечает, что экстремальная жара способна ухудшать состояние людей с сердечно-сосудистыми и респираторными заболеваниями, в том числе с астмой [1]. Систематический обзор и метаанализ 2025 года показал, что увеличение суточного диапазона температуры на 1 °C связано с ростом госпитализаций по поводу сердечно-сосудистых заболеваний на 1,5 %, что подчёркивает значение не только абсолютной температуры,но и её резких изменений [2].

Влажность воздуха также имеет биологическое значение. Она влияет на процессы теплоотдачи и состояние слизистых оболочек дыхательных путей. При этом характер связи между влажностью и отдельными заболеваниями не является универсальным: он зависит от климатической зоны, возраста, сопутствующих факторов и конкретного заболевания. Систематический обзор и метаанализ 2024 года , включивший 21 исследование и 1 052 960 участников, выявил статистическую связь относительной влажности с риском астмы, при этом выраженность эффекта различалась между группами и климатическими условиями [3].Поэтому в системе АТМО влажность рассматривается не как самостоятельный показатель «опасности», а как один из факторов комплексной оценки внешней среды.

Качество воздуха также существенно влияет на здоровье. Загрязняющие вещества могут оказывать воздействие прежде всего на органы дыхания и сердечно-сосудистую

систему. По данным ВОЗ, воздействие загрязнённого воздуха связано с повышением риска заболеваний и смертности со стороны дыхательной и сердечно-сосудистой систем; к загрязнителям с хорошо установленным неблагоприятным воздействием относятся мелкодисперсные частицы, диоксид азота, диоксид серы, озон и оксид углерода[4]. Следовательно, мониторинг состояния воздуха является важной составляющей системы, ориентированной на связь окружающей среды и здоровья человека.

В рамках проекта особое внимание уделяется метеочувствительным людям, лицам с заболеваниями сердечно-сосудистой системы и органов дыхания, а также пользователям с другими хроническими состояниями, включая заболевания крови и кроветворных органов, при которых дополнительные внешние нагрузки могут иметь значение для самочувствия. Приоритетной аудиторией проекта являются пользователи с уже диагностированными хроническими заболеваниями сердечно-сосудистой и дыхательной систем, поскольку масштаб данной группы и её повышенная чувствительность к колебаниям окружающей среды подтверждены официальной статистикой (раздел 1.2); более широкая группа метеочувствительных пользователей без установленного диагноза рассматривается как вторичная аудитория. При этом влияние метеорологических факторов различается в зависимости от конкретного диагноза и индивидуальных особенностей организма. Поэтому АТМО не рассматривается как система диагностики или лечения заболевания. Её задача заключается в предоставлении информационно-профилактических рекомендаций с учётом сочетания фактических условий окружающей среды и указанных пользователем особенностей здоровья.

1.2. Актуальность проблемы для Казахстана и Центральной Азии

Разработка системы локального мониторинга особенно актуальна для Казахстана. В силу значительной удалённости территории страны от океанов климат Казахстана является резко континентальным и характеризуется холодной зимой и жарким летом. Для северной и центральной части страны характерны значительные сезонные и суточные колебания температуры, сильные ветры и продолжительные периоды низких температур,тогда как летом возможны периоды выраженной жары. По данным РГП «Казгидромет», 2025 год стал самым тёплым за весь период наблюдений в Казахстане с 1941 года, а средняя аномалия температуры воздуха по территории страны составила +2,11 °C относительно нормы 1991-2020 годов [5].

Данный фактор приобретает дополнительное значение с позиции общественного здоровья. По данным Бюро национальной статистики Республики Казахстан за 2025 год, болезни системы кровообращения составили 22,5 % основных причин смерти, а болезни органов дыхания составили 10,2 % [6] . В профиле экологического здоровья Казахстана

ВОЗ за 2025 год приведено среднегодовое значение PM2.5 на уровне 27 мкг/м³, что более чем в пять раз выше рекомендованного ВОЗ уровня 5 мкг/м³; также в профиле оценено, что 23 % смертей от инсульта и ишемической болезни сердца связаны с воздействием загрязнения воздуха [7]. Эти данные подтверждаются и на уровне отдельных показателей здоровья: заболеваемость болезнями системы кровообращения в Казахстане в 2024 году составила 2 702,9 случая на 100 000 населения [8]. Слово «предотвратимая» здесь особенно значимо: часть подобных случаев потенциально может быть снижена при более раннем и точном информировании человека об условиях окружающей среды. Актуальность проблемы подтверждает и текущая динамика: летом 2026 года из-за аномальной жары в Казахстане к врачам обратилось около 30 000 человек, что больше почти в 2,5 раза по сравнению с предыдущим годом [9]. Сами по себе эти цифры не доказывают, что погода является причиной указанных заболеваний. Они лишь показывают, каким группам населения особенно важно учитывать воздействия окружающей среды.

ВОЗ подчёркивает, что люди с уже существующими хроническими заболеваниями относятся к группам, более чувствительным к воздействию экстремальных температур [1]. Следовательно, для Казахстана актуальна не только задача наблюдения за погодой как физическим явлением, но и задача своевременной интерпретации погодных и экологических параметров с позиции их возможного значения для конкретного человека.

1.3. Необходимость локального мониторинга

Стандартные погодные сервисы являются важным источником информации и используют данные метеорологических станций, дистанционных наблюдений и математических моделей. Называть такие приложения источником «неправильной погоды» было бы неточно. Проблема в другом: данные, относящиеся к городу или крупной территории, не всегда полностью отражают условия непосредственно в конкретной точке нахождения человека

Современные исследования городской климатологии подтверждают существование внутригородской пространственной неоднородности температуры и качества воздуха. Исследование 2026 года, охватившее 142 города мира, показало выраженную внутригородскую вариабельность температурных условий и загрязнения воздуха, связанную в том числе со структурой городской среды [10]. Различия в застройке, растительности, свойствах поверхности и движении воздуха формируют локальные микроклиматические условия и могут приводить к различиям между отдельными районами одного города.

Именно поэтому в АТМО традиционный прогноз не противопоставляется собственным измерениям. Локальная станция дополняет прогноз фактическими данными,

полученными непосредственно в месте установки устройства. Такой подход позволяет перейти от информации уровня «погода в городе» к оценке условий в конкретной локации, где находится или планирует находиться пользователь.

1.4. Анализ существующих цифровых решений

В ходе исследования нами были изучены существующие системы экологического и медико-метеорологического мониторинга. Анализ показал, что отдельные элементы концепции ATMO уже реализуются в современных продуктах, однако они преимущественно сосредоточены на отдельных задачах.

Например, IQAir AirVisual предоставляет данные о качестве воздуха и погоде в реальном времени, прогнозы, уведомления и рекомендации по снижению воздействия загрязнённого воздуха; система также способна работать с собственными измерительными устройствами IQAir [11]. Веб-приложение Somatic Forecast ориентировано на людей с POTS, дисавтономией и метеочувствительностью и сопоставляет температуру, влажность и атмосферное давление с индивидуальными симптомами пользователя, однако использует получаемые погодные данные , а не разработанную пользователем локальную многопараметрическую станцию [12]. Исследовательская платформа AirPredict объединяет данные качества воздуха, носимых устройств и цифровых дневников для поддержки пациентов с бронхиальной астмой, но использует готовые коммерческие измерительные устройства и ориентирована прежде всего на конкретное респираторное заболевание [13]

Таким образом, корректнее говорить не об абсолютном отсутствии аналогов, а о новой комбинации функций, реализуемой в ATMO. В рамках проанализированных нами решений не было выявлено системы, одновременно сочетающей разработанное авторами локальное многопараметрическое IoT-устройство, отображение собственных измерений в реальном времени, анализ комплекса погодных и экологических факторов и персонализацию рекомендаций в соответствии с индивидуальным профилем здоровья пользователя с ориентацией на условия резко континентального климата Казахстана. [11 – 13].

Это сочетание и определило направление нашего исследования.

1.5. Цель и гипотеза исследования

Целью нашей работы является разработка и экспериментальная проверка системы ATMO для локального мониторинга погодных и экологических условий и формирования персонализированных рекомендаций для метеочувствительных людей с учётом индивидуальных особенностей их здоровья.

Гипотеза исследования заключается в предположении, что совместное использование локально измеряемых показателей окружающей среды и информации об

индивидуальных особенностях здоровья позволит предоставлять человеку более своевременную и персонализированную информационную поддержку при адаптации к неблагоприятным погодным и экологическим условиям, чем предоставление только общих метеорологических данных без их персональной интерпретации.

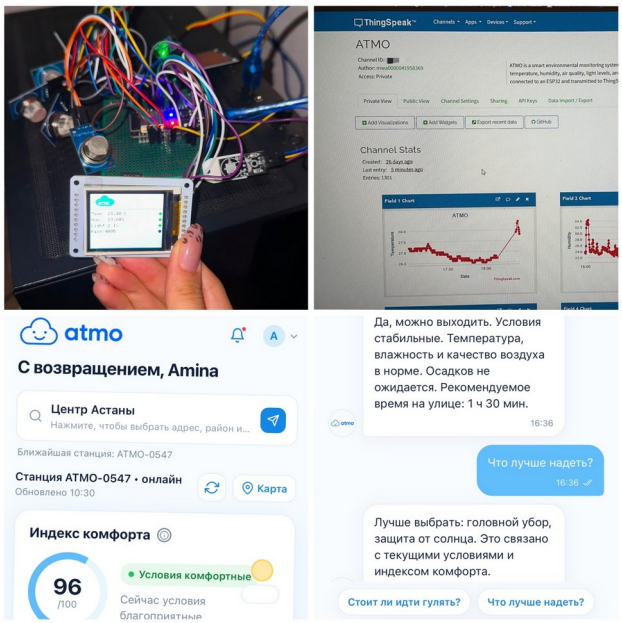
Глава 2. Методы решения поставленной задачи

2.1. Общая архитектура системы ATMO

Для проверки сформулированной гипотезы нами была разработана система, состоящая из трёх взаимосвязанных компонентов : физического устройства мониторинга окружающей среды, облачной системы хранения и передачи информации и пользовательского цифрового интерфейса.

Принцип работы системы можно представить следующей последовательностью:

окружающая среда => **датчики ATMO** => **микроконтроллер ESP32** => **передача данных через Wi-Fi** => **облачная платформа** => **веб-приложение** => **анализ параметров и профиля здоровья** => **персонализированная рекомендация пользователю**



[Рисунок 1]

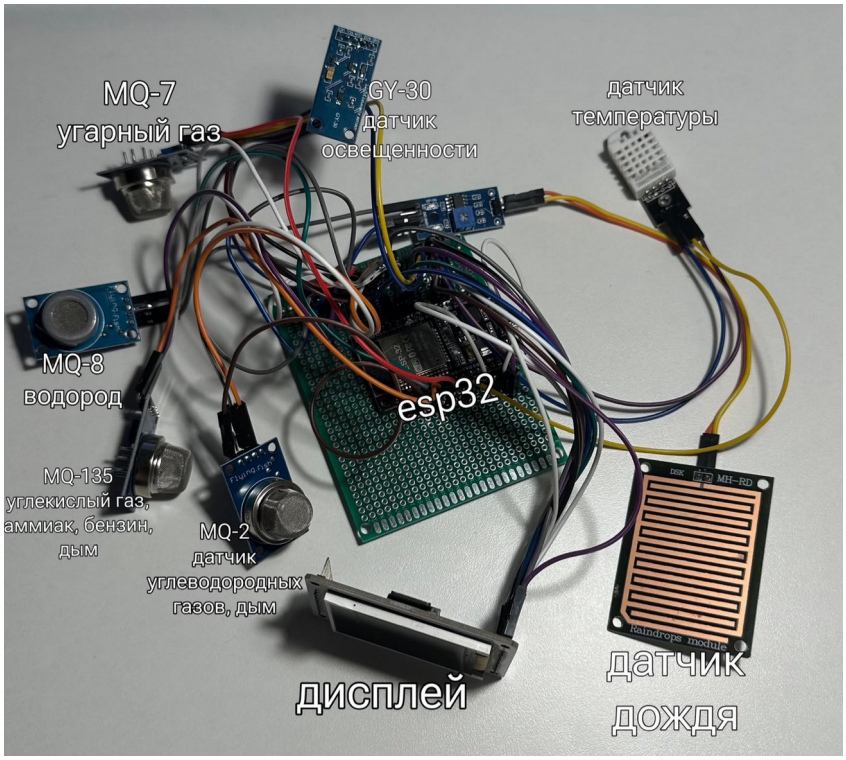
Это отделяет этап получения объективных физических показателей от этапа их интерпретации, и разница здесь принципиальная: одна и та же температура или влажность может иметь различное практическое значение для разных пользователей в зависимости от состояния здоровья и индивидуальной чувствительности.

2.2. Аппаратная часть системы

Главным компонентом нашего прототипа является микроконтроллер ESP32 который позволяет измерять показания датчиков,обрабатывать их и передавать через Wi-Fi. Система измерений состоит из датчиков температуры и относительной влажности воздуха,

атмосферного давления,освещения,опадения осадков а так же датчиков для показательных измерений компонентов воздуха. Кроме того на экране устройства отображается информация что позволяет получить информацию о важных факторах прямо там где проводятся измерения независимо от приложения пользователя. Что касается температуры и влажности, мы используем датчик DHT22 , датчик атмосферного давления BMP180, а для освещённости используется датчик GY-30/BH1750. Наличие осадков определяется датчиком дождя. Состояние воздуха измеряется с помощью системы датчиков MQ серии, а именно датчиков MQ-135, MQ-2, MQ-7 и MQ-8. Дизайн нашего устройства был создан нами самостоятельно с учетом необходимости датчиков для доступа воздуха,защиты электронных частей устройства и дальнейшей самостоятельной установки станции.

Особое внимание при интерпретации данных уделялось ограничениям используемых газовых датчиков. Согласно технической документации MQ-135 и MQ-7B, их показания зависят от условий работы, режима нагрева, температуры, влажности и предварительного прогрева/калибровки [14, 15]. Поэтому на текущем этапе прототипирования необработанные аналоговые значения MQ-сенсоров не интерпретируются нами как лабораторно точные концентрации веществ в ppm. Они применяются преимущественно для выявления относительных изменений состояния воздуха. Для получения количественных показателей в дальнейшем необходима проверка по сертифицированному измерительному оборудованию. Так мы избегаем завышения точности экспериментального устройства.



[Рисунок 2]

2.3. Передача и визуализация данных

Для удалённого получения информации нами была организована передача данных посредством Wi-Fi. В качестве промежуточной облачной среды используется платформа ThingSpeak, куда микроконтроллер передаёт полученные значения. Это позволяет хранить последовательность измерений, наблюдать изменение параметров во времени и передавать актуальные значения в пользовательский интерфейс. Возможности платформы по сбору,хранению и визуализации потоков данных описаны в официальной документации ThingSpeak [16].

Применение облачной архитектуры позволяет отделить физическое устройство от пользователя. Станция может быть установлена в определённой точке города, тогда как пользователь получает информацию удалённо. В перспективе аналогичный принцип позволяет объединить несколько устройств ATMO в единую сеть локальных станций.



[Рисунок 3]

2.4. Принцип персонализации рекомендаций

ATMO отличается тем, что получение измерений не является конечной целью системы. После регистрации пользователь формирует профиль, содержащий сведения, необходимые для персонализации анализа. На основании текущих параметров внешней среды система определяет факторы, которые могут иметь повышенное значение для выбранного профиля.

Например, при наличии у пользователя заболевания органов дыхания больший вес при интерпретации получают показатели состояния воздуха, температуры и влажности; при сердечно-сосудистых заболеваниях особое внимание уделяется температурной нагрузке и выраженности её изменений. При других заболеваниях и индивидуальных особенностях используется соответствующий набор факторов. При этом алгоритм не устанавливает диагноз, не назначает лекарственные средства и не заменяет медицинскую консультацию. Его назначение состоит в преобразовании сложного набора экологических показателей в понятную пользователю информационно-профилактическую рекомендацию: обратить

внимание на неблагоприятные условия, выбрать более подходящее время для пребывания на улице, ограничить интенсивную активность при неблагоприятной среде или учитывать необходимость дополнительной защиты от конкретного фактора.

На текущем этапе данный механизм реализован как экспертная система с заранее заданными весовыми коэффициентами (rule-based), основанными на данных из рецензируемых источников, а не как модель машинного обучения: имеющегося на сегодняшний день объёма собственных измерений недостаточно для корректного обучения такой модели. Такой выбор является осознанным методологическим решением и не снижает научную состоятельность системы; переход к статистической, а затем к калиброванной модели машинного обучения запланирован по мере накопления достаточного объёма собственных данных.

Такой подход соответствует основной биологической идее проекта: важно не только измерить состояние среды, но и оценить его в контексте взаимодействия окружающей среды с конкретным организмом.

2.5. Методика экспериментальной проверки

Для научной проверки системы эксперимент должен включать не только демонстрацию работоспособности устройства, но и количественную оценку его функционирования. На первом этапе проводится функциональная проверка каждого сенсора при изменении соответствующего параметра: температуры и влажности, уровня освещённости, наличия воды на датчике осадков и состояния окружающего воздуха. На втором этапе устройство работает как единая система в течение длительного периода, а все показатели автоматически регистрируются с указанием времени измерения. На третьем этапе локальные показатели температуры , влажности и давления сопоставляются с данными контрольного измерительного прибора и/или ближайшего доступного метеорологического источника. Цель такого сравнения- не доказать, что АТМО «точнее всех приложений», а определить характер расхождений между локальным измерением и данными, относящимися к более крупной территории.

Для количественной оценки температурных измерений может использоваться средняя абсолютная ошибка относительно контрольного прибора:

$$MAE = (1/n) \cdot \Sigma |X_АТМО - Хконтр|,$$

где n - количество измерений, X_АТМО - значение АТМО, Хконтр - значение контрольного прибора

Отдельно оценивается стабильность передачи информации. Для этого рассчитывается доля успешно полученных облачной системой записей от общего количества запланированных передач:

$$K = N_{получ} / N_{общ} \times 100\ \%.$$

Для проверки персонализации рекомендуется использовать несколько заранее сформированных обезличенных тестовых профилей здоровья. При одинаковом наборе метеорологических данных система должна формировать различные акценты рекомендаций в зависимости от профиля. Это позволяет проверить алгоритм без проведения медицинского эксперимента и без необходимости собирать персональные медицинские данные участников.

Глава 3. Результаты работы и их обсуждение

3.1. Результаты создания прототипа

В ходе практической части нами был разработан и собран действующий прототип ATMO. Была обеспечена совместная работа микроконтроллера ESP32 с комплексом сенсоров и дисплеем устройства . Созданная система получает показатели окружающей среды и выводит их пользователю непосредственно на экран. Это подтвердило техническую возможность реализации компактной локальной станции, объединяющей несколько типов экологических измерений в одном устройстве.

Следующим достигнутым результатом стала организация удалённой передачи измерений через Wi-Fi. Полученные устройством значения передаются в облачную среду ThingSpeak и могут отображаться в виде временных рядов. В результате была реализована основная техническая цепочка « измерение => обработка => передача => удалённое получение данных »

Пользовательский интерфейс системы разработан и связан с облачной средой; дальнейшая работа направлена на совершенствование интеграции данных ATMO с механизмом персонализированных рекомендаций и улучшение интерфейса. На текущем этапе основная техническая цепочка (получение измерений, их передача и удалённое отображение) функционирует в составе прототипа.

3.2. Результаты локального мониторинга

В ходе эксперимента устройство регистрировало изменение основных показателей окружающей среды во времени. Наиболее информативным способом представления результатов являются временные графики температуры, влажности, атмосферного давления, освещённости и индикативных показателей состояния воздуха



[График 1]

(Фиксированные данные на протяжении 2 часов)

В рамках тестовых запусков была подтверждена передача измеряемых параметров в ThingSpeak. Для количественной оценки стабильности передачи используется коэффициент K, приведённый в разделе 2.5; данная метрика рассматривается как основной показатель надёжности канала передачи при последующих сериях наблюдений.

При сравнении показаний ATMO с погодными данными для города следует анализировать величину и время возникновения расхождений. Если локальная температура, например, отличается от значения сервиса на определённую величину, это расхождение не стоит списывать на «ошибку» погодного приложения. Дело скорее в том, что источники характеризуют различные пространственные масштабы: ATMO измеряет условия непосредственно в точке размещения, тогда как внешний сервис представляет данные для более крупной территории. Такой вывод соответствует современным исследованиям внутригородской климатической неоднородности [10].

3.3. Результаты проверки персонализации

Важным результатом проекта является переход от одинаковой погодной информации для всех пользователей к её индивидуальной интерпретации. Для экспериментальной проверки этой функции одинаковый набор внешних условий следует последовательно анализировать для нескольких тестовых профилей.

Например, при сочетании высокой температуры и неблагоприятного показателя состояния воздуха пользователь с респираторным заболеванием должен получить рекомендацию, в которой более выражен акцент на качестве воздуха и ограничении интенсивной активности на улице. Для пользователя с сердечно-сосудистым заболеванием при тех же условиях система должна акцентировать внимание на температурной нагрузке и выборе менее жаркого времени для активности. Речь не о предсказании того, что заболевание обязательно обострится, а о том, какие факторы окружающей среды весомее именно для этого профиля.

Этот результат и определяет принадлежность проекта к биологии и секции «Охрана окружающей среды и здоровье человека». Аппаратная часть — инструмент для получения

информации, а исследовательский объект — взаимосвязь факторов окружающей среды и адаптации организма человека к этим факторам.

3.4. Обсуждение результатов

Полученные на текущем этапе результаты подтверждают техническую реализуемость предложенного подхода: возможно создать компактное устройство , осуществлять локальное многопараметрическое наблюдение, передавать показатели удалённо и использовать их в качестве входной информации для персонализированного анализа.

При этом результаты нельзя интерпретировать как доказательство лечебной или диагностической эффективности АТМО. Для такого вывода потребовались бы клинические исследования с участием пациентов и медицинских специалистов, что не является задачей настоящей работы. Наш проект направлен на профилактическую информационную поддержку и повышение осведомлённости пользователя о состоянии окружающей среды.

Иными словами, гипотеза исследования на этапе создания прототипа подтверждается в её технологической части: система способна объединять локальные экологические показатели с индивидуальным профилем пользователя для формирования различающихся рекомендаций. Для полного подтверждения предположения о том, что использование АТМО улучшает способность человека адаптировать повседневную активность к изменениям погоды, в дальнейшем необходимы более длительные наблюдения и оценка взаимодействия пользователей с системой.

Сильной стороной проекта является комплексность: собственная система локального мониторинга, передача фактических показателей в реальном времени и персонализированная интерпретация объединены в одну архитектуру. Ограничениями текущего прототипа являются необходимость дальнейшей калибровки отдельных сенсоров, расширения продолжительности наблюдений и проверки рекомендаций с привлечением специалистов. Особенно важно учитывать, что недорогие газовые сенсоры серии MQ зависят от условий окружающей среды и калибровки, поэтому без дополнительной проверки их показания нельзя представлять как высокоточные медицинские или лабораторные измерения.

С научной точки зрения признание этих ограничений не уменьшает ценность работы. Напротив, оно позволяет определить конкретные направления дальнейшего развития АТМО: повышение метрологической точности, увеличение числа локальных станций,накопление длительных временных рядов, совершенствование алгоритма персонализации и экспертная оценка медицинской корректности рекомендаций.

Для прозрачности исследования отдельно разграничим, что именно подтверждено на данном этапе работы, а что остаётся гипотезой или направлением дальнейшей проверки. Экспериментально подтверждено: работоспособность цепочки датчики => ESP32 => ThingSpeak => пользовательский интерфейс, а также способность алгоритма формировать различающиеся рекомендации для разных профилей здоровья при одинаковых внешних условиях. Обосновано научной литературой, но не проверено на собственных данных АТМО: предположение о том, что локальное измерение точнее отражает условия в конкретной точке, чем данные городского уровня. Не доказано и не заявляется в рамках настоящей работы: снижение частоты обострений, госпитализаций или иное влияние использования АТМО на течение заболевания. Для подобных выводов необходимы клинические исследования с участием медицинских специалистов, что выходит за рамки задач данного проекта.

Глава 4. Иллюстративные материалы

1. Рисунок 1 - «Архитектура системы АТМО»: датчики => ESP32 => Wi-Fi => ThingSpeak => веб-приложение => анализ профиля здоровья => персональная рекомендация
2. Рисунок 2 - «Прототип устройства АТМО»: фотография собранного устройства с подписями основных компонентов
3. Рисунок 3 - «Размещение сенсоров в корпусе АТМО»: 3D-модель корпус
4. График 1 - «Изменение температуры и влажности по данным АТМО в течение периода наблюдений»

Заключение

В ходе работы был разработан прототип системы АТМО, предназначенной для снижения потенциального негативного влияния изменений окружающей среды на здоровье человека. Особую актуальность проект приобретает для регионов с резко континентальным климатом, включая страны Центральной Азии, где значительные колебания температуры, атмосферного давления, влажности и других метеорологических факторов могут отражаться на самочувствии людей. Основное внимание в проекте уделяется метеочувствительным пользователям, а также людям с заболеваниями органов дыхания и системы кровообращения.

В результате была создана система, объединяющая собственное сенсорное устройство и веб-приложение для обработки и интерпретации получаемых данных. Устройство фиксирует параметры окружающей среды и передаёт их через интернет в цифровую систему. После обработки показателей пользователь получает персонализированные рекомендации с учётом текущих условий и индивидуальных особенностей здоровья. Благодаря этому наблюдение за погодными изменениями не остаётся самоцелью: полученная информация помогает более осознанно планировать повседневную активность.

Практическая значимость АТМО заключается в возможности своевременно предупреждать пользователя о потенциально неблагоприятных условиях окружающей среды. В зависимости от текущих показателей система может рекомендовать скорректировать время выхода на улицу, сократить продолжительность пребывания на открытом воздухе, выбрать более подходящую одежду или обратить внимание на конкретные погодные факторы.Таким образом, проект ориентирован прежде всего на профилактику и снижение вероятности ухудшения самочувствия.

С научной точки зрения накопленные данные могут использоваться для дальнейшего изучения взаимосвязи между изменениями окружающей среды и состоянием человека. Длительный сбор информации позволит выявлять закономерности, характерные для отдельных территорий и групп пользователей,а также совершенствовать алгоритмы анализа и повышать точность персонализированных рекомендаций.

Дальнейшее развитие проекта предполагает увеличение продолжительности наблюдений, калибровку датчиков и сопоставление их показаний с данными профессиональных метеорологических станций. Перспективными направлениями являются расширение сети устройств и использование накопленной информации для разработки более точных моделей прогнозирования.

Таким образом, АТМО обладает потенциалом дальнейшего развития как научно-практическая система профилактической поддержки. Масштабирование проекта в городах Центральной Азии и других регионах с резко континентальным климатом может сделать персонализированную информацию об окружающей среде более доступной и помочь пользователям своевременно адаптировать своё поведение к изменяющимся условиям.

Список использованных источников и литературы

1. World Health Organization. Heat and health July 2026

2. Diurnal temperature range and hospital admission due to cardiovascular diseases: A systematic review and meta-analysis study. International Journal of Cardiology Cardiovascular Risk and Prevention. December 2025.

3. Association of humidity and precipitation with asthma: a systematic review and meta-analysis. December 2024

4. World Health Organization. Exposure to health damaging air pollutants: Science and policy snapshots on air quality, energy and health July 2025

5. РГП «Казгидромет». Об особенностях климата на территории Казахстана в 2025 году

6. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. Естественное движение населения Республики Казахстан 2025

7. World Health Organization. Environmental Health Kazakhstan 2025 country profile

8. Tengri News: Как изменение климатов влияет на казахстанцев 2026

9. Жара в Казахстане 2026

10. Scaling intra-urban climate fluctuations. Nat Cities. 2026

11. IQAir. AirVisual Series: Air Quality App

12. Somatic Forecast. App Store

13. AirPredict: an eHealth platform for asthma management leveraging wearable sensors, digital diaries, and air quality monitoring to optimize patient outcomes. 2025

14. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. MQ135 Air Quality Gas Sensor 2021

15. Zhengzhou Winsen Electronics Technology Co., Ltd. MQ-7B Carbon Monoxide Gas Sensor 2021

16. MathWorks. ThingSpeak for IoT Projects