

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	PIHII (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2016 Issue: 8 Volume: 40

Published: 30.08.2016 <http://T-Science.org>

Daler Sharipov

Senior Researcher, Institute of Mathematics,
National University of Uzbekistan,
Angren, Uzbekistan
gushqor@mail.ru

SECTION 2. Applied mathematics. Mathematical modeling.

DEVELOPING OF MODEL AND WEB APPLICATION FOR FORECASTING OF ECOLOGICAL STATE OF THE ATMOSPHERE

Abstract: This article discusses an approach to the implementation of a web application for analysis and forecasting of the spread of harmful substances into the atmosphere, based on the use of map and weather web services' API. For a description of the studying process, there was developed a mathematical model of transport and diffusion of pollutants in the atmospheric boundary layer, which takes into account some parameters that significantly affect the process such as weather and climatic factors and terrain elevation.

Key words: mathematical model, transfer and diffusion of pollutants, climatic factor, software, web-service, computational experiment.

Language: Russian

Citation: Sharipov D (2016) DEVELOPING OF MODEL AND WEB APPLICATION FOR FORECASTING OF ECOLOGICAL STATE OF THE ATMOSPHERE. ISJ Theoretical & Applied Science, 08 (40): 58-69.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-08-40-13> **Doi:**  <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.08.40.13>

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ И ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АТМОСФЕРЫ

Аннотация: В настоящей статье рассматривается подход к реализации веб-приложения для анализа и прогнозирования процесса распространения вредных веществ в атмосфере, основанный на применении API картографических и погодных веб-сервисов. Для описания исследуемого процесса разработана математическая модель переноса и диффузии вредных веществ в приземном слое атмосферы, в которой учитываются основные параметры, существенно влияющие на процесс - погодные-климатические факторы и рельеф местности.

Ключевые слова: математическая модель, перенос и диффузия вредных веществ, погодные-климатический фактор, программное средство, веб-сервис, вычислительный эксперимент.

1. Введение. Экологическое состояние приземного слоя атмосферы значительно влияет на живую природу Земли. Вредные техногенные выбросы в атмосферу негативно сказываются на качестве воздуха, а последующее осаждение вредных частиц и примесей на подстилающую поверхность влечет загрязнение водоемов и почвы. Образующийся экологический дисбаланс становится причиной массы проблем, включая ухудшение плодородности сельскохозяйственных угодий, состояния живой природы и здоровья населения.

Учитывая важность проблемы, общепринятой в мире практикой является организация государственных служб контроля загрязнения атмосферы. На станциях и пунктах контроля в автоматическом режиме замеряют

концентрации различных веществ в воздухе с целью последующей оценки негативного эффекта вредных выбросов.

Результаты измерений отражают реальное состояние атмосферного воздуха. Однако собираемая информация лишь констатирует последствия загрязнений, кроме того, она справедлива только в местах проведения измерений и не позволяет оценить состояние атмосферы на прилегающих территориях.

Для выявления уровня загрязнения в произвольной точке рассматриваемого региона, не прибегая к натурным измерениям, специалисты и исследователи обращаются к методам и средствам математического моделирования и вычислительного эксперимента на ЭВМ. С учетом географических и погодных



Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

климатических характеристик рассматриваемого региона, моделирование на ЭВМ позволяет выполнять мониторинг экологической ситуации в режиме реального времени, а также прогнозировать гипотетические ситуации, например, последствия строительства нового промышленного объекта. Результаты прогнозирования, в свою очередь, позволяют заранее определить необходимые меры по минимизации возможных экологических рисков.

Мониторинг состояния окружающей природной среды в промышленных регионах позволяет сократить расходы на ликвидацию последствий техногенного воздействия объектов производства, что в свою очередь снижает вероятность загрязнения атмосферного воздуха, почвы, поверхностных и грунтовых вод. Уровень развития современных информационных технологий позволяет использовать их как инструмент анализа качества природной среды.

При анализе и прогнозировании процесса распространения вредных веществ в атмосфере важную роль играет использование сетевых геоинформационных технологий и современных средств визуализации данных. Их использование дает возможность понимать ситуацию и отражать особенности, которые порой сложно увидеть при прочих способах организации данных, например текст, таблицы или обычные диаграммы.

Применение интернет-технологий при разработке программных средств для анализа и прогнозировании процесса распространения вредных веществ в атмосфере имеет ряд преимуществ, например, доступность для большого числа пользователей, упрощение процессов распространения и обновления разработанного программного обеспечения (ПО), гибкость при интеграции со сторонними веб-приложениями и сервисами.

Сравнительно недавно создание программного и информационного обеспечения для исследования, мониторинга и прогнозирования процесса распространения вредных выбросов было нетривиальной задачей. Сегодня же, когда картография и метеорология, по сути, превратились в подотрасли ИТ-индустрии, эта задача существенно упростилась. Такому изменению, главным образом, способствовал бурный рост числа датчиков, фиксирующих природные явления и определяющих пространственные данные: метеоспутники, домашние метеостанции, погодные сенсоры в носимой электронике, спутники и персональные трекеры географического позиционирования и т.д.

Монополия государственных организаций в области сбора, обработки и предоставления географических и метеорологических данных постепенно сокращается. Уже сегодня

существуют десятки ИТ-компаний, собирающих и обрабатывающих такие данные не только с официальных станций и спутников, но и с миллионов пользовательских гаджетов. Помимо информации для конечных потребителей, такие компании предоставляют интерфейсы прикладного программирования (API) для доступа к структурированным данным в режиме онлайн, их анализа и обработки. Это значительно упрощает разработчикам задачи программирования собственных информационных систем.

2. Практика применения веб-сервисов для решения задач экологического мониторинга. Анализ публикаций за последние годы дает основание утверждать, что направления исследований в области экологического мониторинга и разработки соответствующих программно-инструментальных средств переживают период бурного развития.

Так, в работе [1] с помощью геоинформационной системы (ГИС) MapInfo Professional авторами осуществлено исследование распределения загрязняющих веществ в атмосферном воздухе на магистральных улицах г. Воронежа. Представленный анализ основан на визуализации и трансформации пространственных данных.

Для отображения результатов авторами была составлена собственная электронная карта Воронежа. Хотя авторы не использовали онлайн картографические сервисы, тем не менее, при создании данных тематических слоев ими была задействована проекция WGS-84 (World Geodetic System 1984) – реальная система координат планеты.

Представленные в работе результаты демонстрируют концентрации диоксида азота, оксида углерода и диоксида серы в заданных точках города. Так как в исследовании основным источником выбросов рассматривается работа двигателей автотранспортных средств, то результаты исследования были направлены на разработку рекомендаций по оптимизации и перераспределению транспортных потоков на загруженных улицах города с целью принятия экологических решений для улучшения экологической обстановки и снижения риска для здоровья населения.

Автором работы [2] рассмотрены особенности отображения данных экологического мониторинга. Приведены методы визуализации данных в составе системы экологического мониторинга объекта уничтожения химического оружия в Курганской области. Результаты представлены в виде линий тренда и экологических карт со слоями данных. Также автор уделяет внимание визуализации результатов моделирования возможных

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

аварийных ситуаций на объекте и при транспортировке отравляющих веществ.

Автором приводится разработанное программное средство в котором задействованы отдельные компоненты коммерческих ГИС, в частности, для визуализации используются векторные слои, созданные с помощью MapInfo Professional. Данные для расчетов в программе импортируются из сетевого удаленного хранилища либо задаются вручную.

В отличие от программного решения в [1], здесь реализованная автором подсистема визуализации не только отражает фактическое состояние объектов мониторинга, но и оповещает о превышениях предельно допустимых концентраций (ПДК) вредных веществ. Отображение осуществляется как по зонам и точкам контроля, так и по времени, средам (воздух, вода, почва) и видам загрязнителей (взвешенные вещества, диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота и т.д.). Для расчетов в программе предусмотрен онлайн импорт метеоданных со стороны собственной службы информационно-аналитического центра экологического мониторинга или непосредственно из объектовых метеостанций.

Статья [3] посвящена задаче построения информационно-аналитической системы для экологического мониторинга состояния природной среды и ресурсов, построенной на совокупности технологий ГИС, интернет, обработки данных дистанционного зондирования и данных со станций наблюдения. Значительное внимание уделяется веб-сервисам и программным интерфейсам для сбора и визуализации данных наблюдения. В качестве основы для сбора, обработки и визуализации данных применяются разработки коллектива Института вычислительного моделирования (ИВМ) СО РАН, в частности геопортал ИВМ СО РАН (<http://gis.krasn.ru>).

Рассмотренная авторами система являет собой пример поставщика геоинформационных сервисов. На основе веб-сервисов и публичных API, предоставляемых на портале, сторонние

разработчики имеют возможность получать доступные информационные ресурсы, формировать географические карты и различные тематические слои.

Данная распределённая клиент-серверная система агрегирует в себе большое число технологий, в том числе, платформу для публикации картографических данных – MapServer, систему кэширования картографических данных – GeoWebCache, хранилище пространственных данных – PostGIS и прочие. Авторы отмечают, что совокупность использованных технологий базируется на рекомендациях и открытых стандартах международного консорциума Open Geospatial Consortium.

Для разработчиков программных средств экологического мониторинга атмосферы на геопортале доступен следующий набор данных: диоксид азота (мг/м³), оксид азота (мг/м³), взвешенные вещества (мг/м³), диоксид серы (мг/м³), оксид углерода (мг/м³), а также метеоданные: температура, влажность, давление и т.д. Указанные наборы данных поступают в систему с распределенной сети измерительных станций. В качестве поставщика данных наблюдений, в частности, отмечена краевая система наблюдения за состоянием окружающей среды на территории Красноярского края.

На собственном сайте системы мониторинга Красноярского края можно видеть удачный пример применения геоинформационных веб-сервисов и средств визуализации данных наблюдений. В качестве карты-подложки здесь применяется сервис Яндекс.Карты, а для тематических отображения слоев – набор собственных и сторонних скриптов (Рис. 1). На карте отображаются маркеры точек мониторинга атмосферы, радиационной и сейсмической обстановок. Нажатием на маркер открывается соответствующее информационное окно, где можно наблюдать визуализацию данных наблюдений в виде диаграмм в интервалах: день, неделя, месяц, год.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 0.234
ESJI (KZ) = 1.042
SJIF (Morocco) = 2.031

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260



Рисунок 1 - Система наблюдения за состоянием окружающей среды на территории Красноярского края.

3. Использование веб-сервисов в научных исследованиях по проблеме прогнозирования экологического состояния атмосферы. Как было отмечено выше, анализ как приведенных здесь, так и множества других работ позволяет сделать вывод о том, что развитие информационных технологий, связанных с задачами экологии, находится на достаточно высоком уровне. Достижения данной отрасли представляют собой полезное подспорье в научных исследованиях фундаментального и прикладного характера.

Обзор научных публикаций за последние годы показывает, что в перечне актуальных задач, решаемых с помощью математического моделирования, вопросы экологии занимают особое место. Сегодня, математическое моделирование и вычислительный эксперимент, как научный инструмент, представляют собой синтез достижений традиционных научных методов и новых информационных технологий.

Здесь можно отметить, что процесс научного исследования, направленный на решение задач экологии (как впрочем, любых других задач), включает в себя следующие основные этапы разработки или усовершенствования:

- информационной модели объекта исследования;
- математической модели объекта исследования;
- алгоритма решения задачи;

- программного средства для проведения вычислительных экспериментов.

Этап создания информационной модели, возможно, не самый трудоемкий в интеллектуальном плане, но зачастую требует длительной и кропотливой работы. Сюда входят сбор, обработка и соответствующее упорядочивание требуемой информации. В зависимости от задачи, речь может идти о чрезвычайно больших объемах данных.

Существующие сегодня онлайн сервисы существенным образом упрощают эту работу, предоставляя необходимую информацию в структурированном виде и в требуемом объеме. Причем данные для информационной модели могут отражать как оперативные, так и ретроспективные сведения за определенный период времени.

Практически все подобные онлайн сервисы предоставляют разработчикам стандартизированные API для работы с импортируемыми данными, а также для реализации различных функций в программах, например, модулей визуализации результатов расчетов. Это обстоятельство упрощает работу на этапе создания программных средств. То есть исследователи, значительно экономят трудозатраты на выборе технологий и программировании, и могут полностью посвятить себя наиболее наукоемкой части работы – разработке моделей и алгоритмов.

К числу онлайн сервисов, представляющих определенный интерес для исследователей при

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

решении научных задач прогнозирования экологического состояния атмосферы, относятся картографические службы: Google Maps, Microsoft Bing Maps, OpenLayers, OpenStreetMap; погодные службы: AccuWeather, Weather Underground, World Weather Online, OpenWeatherMap. Следует отметить, что это лишь наиболее популярные онлайн службы, их общий список гораздо более обширен и периодически пополняется.

Информационные ресурсы онлайн сервисов не ограничиваются только пространственными и метеорологическими данными. Развитие технологий анализа «больших данных» и распределенных облачных вычислений, а главное стремительное падение стоимости услуг в этом секторе ИТ-рынка позволяют поставщикам осуществлять более глубокую обработку «сырых» данных наблюдений.

Например, с 2015 года в рамках проекта OpenWeatherMap [4, 5] помимо метеорологических данных и прогнозов, разработчикам предоставляется API «Данные по качеству атмосферного воздуха». В настоящее время набор включает в себя значения концентрации оксида углерода (CO), озона (O₃), диоксида серы (SO₂), диоксида азота (NO₂) для любой географической точки с разрешением от 78 км до 1 м.

Формат запроса данных имеет следующий вид:

```
http://api.openweathermap.org/pollution/v1/co/{  
широта, долгота}/{дата- время}.json?appid={апи  
ключ разработчика}
```

Ответ веб-сервиса в формате JSON имеет следующий вид (в данном случае по оксиду углерода):

```
{"time": "2016-03-03Z",  
"location": {"latitude": 0.0, "longitude": 10.0},  
"data": [  
{"precision": -4.999, "pressure": 1000, "value":  
8.1683 },  
{"precision": -4.999, "pressure": 681, "value":  
8.6869 },...,  
{"precision": -0.001, "pressure": 0.09, "value":  
0.0001 }]}
```

Массив данных «data» содержит значения точности измерения – «precision», атмосферного давления в заданной точке (в гПа) – «pressure» и массовой концентрации оксида углерода в составе атмосферного воздуха в заданной точке – «value» (в мг/м³). Диапазон количества данных возвращаемых веб-сервисом зависит от

формулировки запроса. Например, количество цифр после точки в значениях широты и долготы задает максимальный радиус поиска источников данных наблюдения вокруг указанной географической точки. Радиус поиска варьируется в пределах от 78 км до 1 м. Для любой произвольной географической точки, вычисление значения концентрации производится путем интерполяции данных от ближайших контрольно-измерительных источников. Точность указания времени в запросе, также влияет на получаемый ответ. В приведенном выше примере время указано в формате «год-месяц-день» это значит, что ответ содержит все доступные данные за сутки на указанную дату.

Аналогичные наборы данных по индексу качества атмосферного воздуха предоставляются другими онлайн сервисами. Так, в наборе данных сервиса AccuWeather [6] имеется информация о значениях концентрации взвешенных веществ – твердых частиц классов PM₁₀ и PM_{2.5} (пыль, сажа, зола и т.д.). Однако, в настоящее время область действия данного сервиса ограничена только территорией Китая. Сотрудниками AccuWeather проводится работа по расширению географии сбора и предоставления данных наблюдений.

Благодаря открытому доступу к таким наборам данных и API исследователи, занимающиеся математическим моделированием процессов распространения вредных веществ в окружающей среде, могут полнее оценить адекватность разрабатываемых ими моделей. Во-первых, появляется возможность проведения вычислительных экспериментов на реальных данных и для реальной ситуации. Во-вторых, полученные исследователем результаты, спустя охваченный экспериментом промежуток времени, можно сравнить с фактическими данными, путем запроса к веб-сервису, и тем самым убедиться в точности прогноза.

Подобная методика проведения научных исследований уже активно используется [7, 8]. На интернет ресурсе [9] приводится описание более 140 моделей для прогнозирования атмосферного загрязнения, многие из которых могут быть использованы в совокупности с технологиями рассмотренных онлайн сервисов. Авторы статьи [10], изучающие проблему влияния ветров на распространение и диффузию вредных веществ в атмосфере, в частности отмечают, что до недавнего времени они не имели возможность реализовать динамическую визуализацию исследуемого процесса. В статье приводится программная реализация разработанной ими модели (Рис. 2).

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

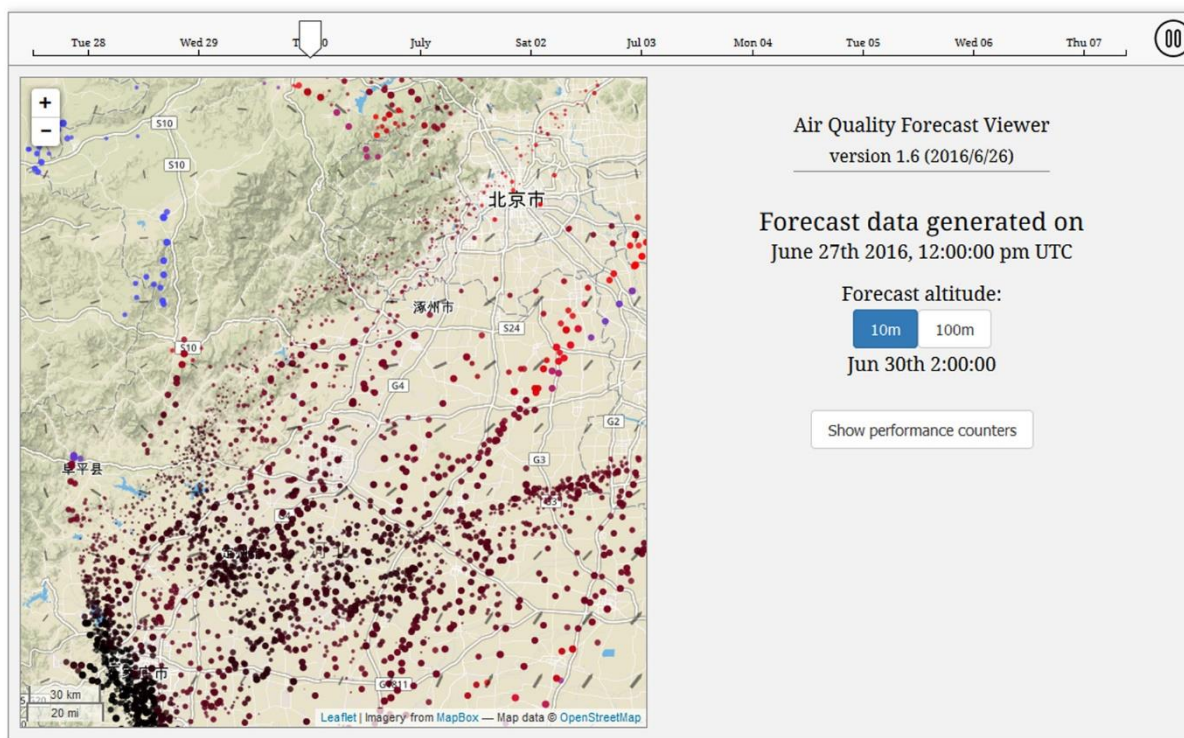


Рисунок 2 - Динамическая визуализация процесса распространения частиц PM_{2.5} в окрестности г. Пекин.

На рис. 2 отображена динамическая визуализация прогнозирования процесса переноса и диффузии вредных частиц. Прогноз рассчитывается на 10 суток начиная со дня запуска программы (в данном случае с 27 июня). За время анимации программа наглядно отражает уровень концентрации в точках области решения задачи в тот или иной момент заданного интервала времени. Расчет осуществляется для слоев атмосферы на высоте 10 и 100 метров от поверхности земли. Прогноз движения воздушной массы атмосферы на расчетный период базируется на метеорологической модели Глобальной Системы Прогнозирования (GFS [11]). По собственному утверждению авторов в разработанной ими программе была использована упрощенная модель, не учитывающая многих параметров, значительно влияющих на исследуемых процесс. Задача авторов состояла в том, чтобы наглядно продемонстрировать концепцию и технологии, положенные в основу прогнозирования качества атмосферного воздуха.

Интенсивное расширение сети контрольно-измерительных устройств, развитие IT-инфраструктуры первичной обработки данных наблюдений, рост числа и качества компаний – поставщиков данных никоим образом не отменяют актуальности научного направления по исследованию сложных процессов, связанных с

техногенным воздействием на экологическое состояние окружающей среды. Напротив, исследователи получают более широкие возможности для создания и усовершенствования математических моделей, вычислительных алгоритмов и программных средств, а также возможности для проверки их адекватности при минимальных затратах. Учитывая мировой масштаб и остроту проблемы защиты окружающей среды от техногенных факторов, спрос на научные достижения в данной области только растет.

4. Реализация веб-приложения для анализа и прогнозирования процесса распространения вредных веществ в пограничном слое атмосферы. Исходя из выше сказанного, в настоящей работе предложен подход к программной реализации модели и численного алгоритма для прогнозирования процесса распространения вредных выбросов в атмосфере, основанный на использовании API и наборов данных онлайн сервисов Google Maps и OpenWeatherMap (Рис. 3).

Разработанная математическая модель переноса и диффузии вредных веществ в атмосфере, описывается полным уравнением гидромеханики с соответствующими начальными и краевыми условиями [12-17]:

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИИ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(uh\theta) + \frac{\partial}{\partial y}(vh\theta) + \frac{\partial}{\partial z}((w - w_g)h\theta) + \sigma\theta h =$$

$$= \mu \frac{\partial}{\partial x} \left(h \frac{\partial \theta}{\partial x} \right) + \mu \frac{\partial}{\partial y} \left(h \frac{\partial \theta}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\lambda h \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) + \delta_{i,j,k} f, \quad (1)$$

$$\theta(x, y, z, t)|_{t=0} = \theta_0(x, y, z), \quad (2)$$

$$\alpha_1(\theta - \theta_0)|_{x=0} + \beta_1 \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=0} = 0, \quad (3)$$

$$\alpha_2(\theta - \theta_0)|_{x=L} + \beta_2 \frac{\partial \theta}{\partial x} \Big|_{x=L_x} = 0, \quad (4)$$

$$\alpha_3(\theta - \theta_0)|_{y=0} + \beta_3 \frac{\partial \theta}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0, \quad (5)$$

$$\alpha_4(\theta - \theta_0)|_{y=L_y} + \beta_4 \frac{\partial \theta}{\partial y} \Big|_{y=L_y} = 0, \quad (6)$$

$$\lambda \frac{\partial \theta}{\partial z} - h\beta\theta = -hf_0 \text{ при } z = 0, \quad (7)$$

$$\lambda \frac{\partial \theta}{\partial z} = 0 \text{ при } z = H_z. \quad (8)$$

Здесь θ – концентрация вредных веществ в атмосфере; θ_0 – первичная концентрация вредных веществ в атмосфере; x, y, z – система координат; u, v, w – скорость ветра по трем направлениям; w_g – скорость осаждения частиц; σ – коэффициент поглощения вредных веществ в атмосфере; μ, λ – коэффициенты диффузии и турбулентности; $\delta_{i,j,k}$ – функция Дирака; f, f_0 – источники выброса вредных веществ из

промышленных объектов и поселяющей поверхности земли. Параметры $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ в уравнениях (3)-(6) задаются в зависимости от постановки задачи и могут быть принимать значение 0 или 1.

Как можно видеть из постановки задачи (1)-(8), получить аналитическое решение затруднительно. Поэтому, для ее решения был разработан численный алгоритм, основанный на замене дифференциальных операторов на конечно-разностные [12-17].

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	РИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

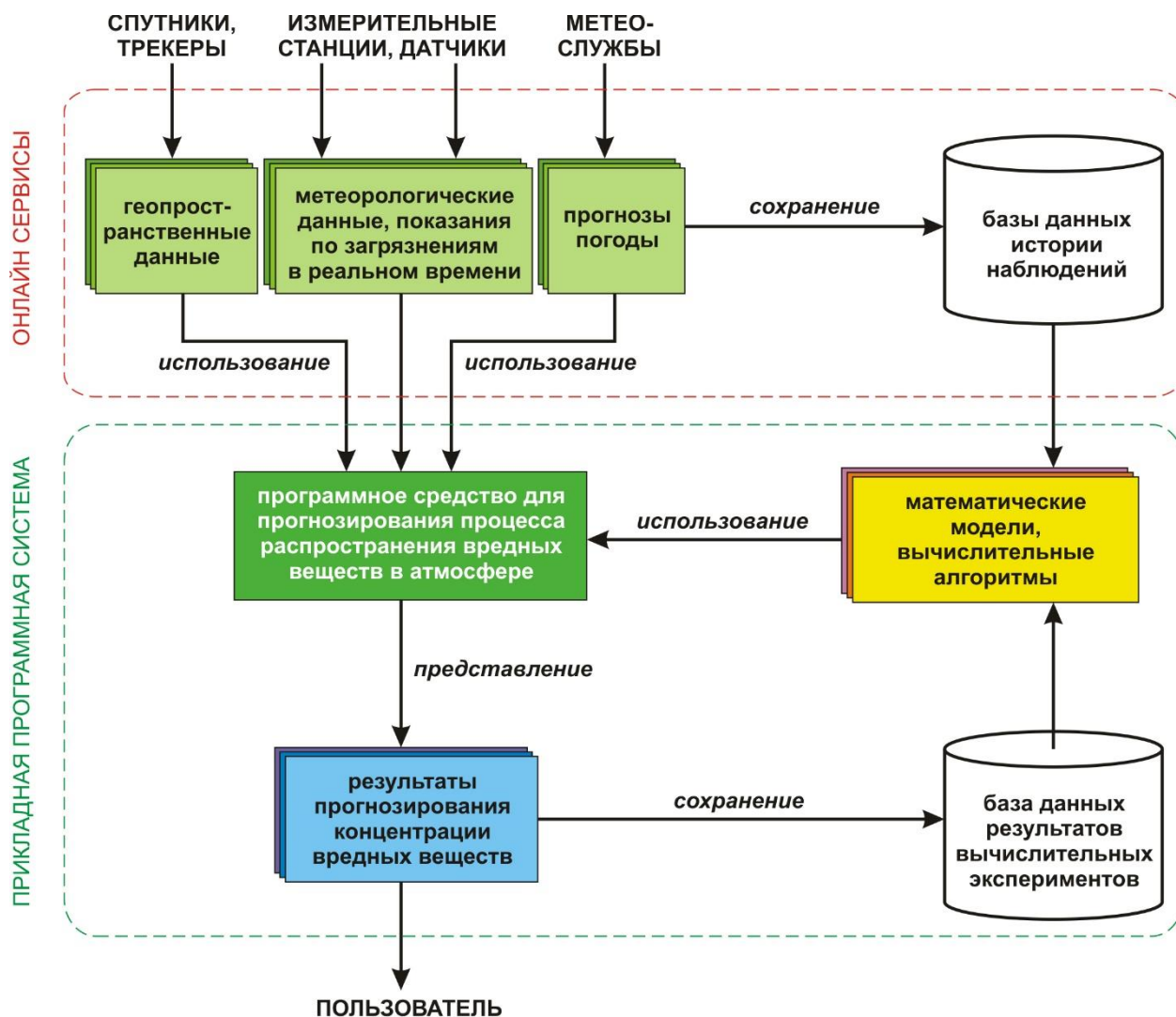


Рисунок 3 - Общая схема реализации веб-приложения.

В качестве основной технологии создания программного средства был выбран язык программирования Java в виду ряда объективных преимуществ, в том числе, полной поддержки веб-ориентированной разработки, а также наличия большого числа различных библиотек. В частности, авторами были использованы библиотеки GWT-Maps и OWM JAPI. Здесь следует отметить, что библиотека GWT-Maps предназначена для использования в рамках Java-фреймворка Google Web Toolkit, главная особенность которого состоит в компиляции кода языка Java в код языка JavaScript. Таким образом, при работе с картами Google Maps отпадает необходимость написания кода на двух разных языках программирования.

В число возможностей разрабатываемого веб-приложения входят: автоматическая загрузка и позиционирование карты-подложки; импорт пространственных данных; интерактивный ввод данных об источнике выброса на карте;

автоматический поиск метеоусловий (направление и скорость ветра) по географическим координатам; расчет концентрации вредных веществ в атмосфере в рамках области решения задачи; визуализация результатов расчета в виде полупрозрачных слоев на интерактивной карте и виджетов с диаграммами; сохранение истории вычислительных экспериментов в базе данных.

Как правило, онлайн сервисы налагают определенные ограничения на доступ к данным в виде квоты на количество запросов в сутки. Между тем, решение задачи [12-17] предполагает нахождение $\theta(x, y, z, t)$ – количества вещества, распространяющегося по времени и по трем направлениям в пространстве. Математическая модель содержит параметр h , учитывающий орографию местности. То есть, для расчета необходим обширный массив высотных данных по каждой точке области решения задачи.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

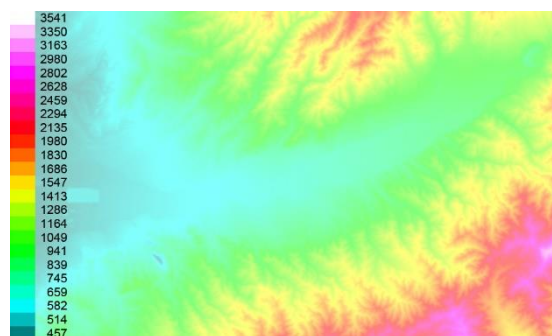
Запрос такого массива даже для небольшой области приведет к превышению допустимой квоты. Кроме того, Google API высотных данных допускает запросы массива данных только в одномерном виде, то есть, в виде траектории, причем даже в этом случае сервис использует интерполяцию и возвращает усредненные значения между ближайшими точками.

Чтобы оперировать при расчетах точными значениями высот, было решено сформировать локальную базу данных на основе снимков радарной топографической съемки земной поверхности (SRTM), четвертое поколение которых предоставляется геопорталом CGIAR-CSI в открытом доступе. Каждый пиксел растрового изображения SRTM содержит координаты широты и долготы, а также значение высоты над уровнем моря в метрах. Разрешение

растров составляет 90 метров (3 угловых секунды), а каждая отдельная плитка мозаики имеет размер 5x5 градусов. Суть программного решения состоит в следующем. Прямоугольная сетка (область) географических координат на интерактивной карте, в узлах которой рассчитываются значения θ , сопоставляется с аналогичным фрагментом растра SRTM (Рис. 4) из локальной базы данных. Таким образом, в ходе расчета для каждого узла сетки параметр h может принимать точные значения высоты. Кроме того, локальное использование файлов SRTM значительно сокращает время вычислений, по сравнению с ситуацией, когда высотные данные извлекаются из удаленного источника по сети.



а) карта Алмалык-Ахангаран-Ангренского промышленного региона с координатами центра области: 40,92° с.ш., 69,71° в.д.



б) соответствующий фрагмент мозаики SRTM с указанием высоты над уровнем моря в метрах для каждой точки области.

Рисунок 4 – Карты региона.

После установки на интерактивной карте маркера источника выбросов и ввода его параметров необходимо определить текущие метеоусловия рассматриваемой местности. Библиотека OWM JAPI для OpenWeatherMap позволяет выполнять автоматическую загрузку погодных данных по координатам размещенного на карте источника. С целью большей наглядности можно подключать погодные карты в виде слоя (Рис. 5).

Данная библиотека хорошо документирована и крайне проста в

использовании. Фактически для импорта текущих метеоусловий требуется написание 3-5 строк кода.

Сначала создается объект класса «OpenWeatherMap», а затем объект класса «CurrentWeather» члены которого можно инициализировать при создании методом «currentWeatherByCoordinates». Данный метод принимает в качестве аргументов координаты широты и долготы.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

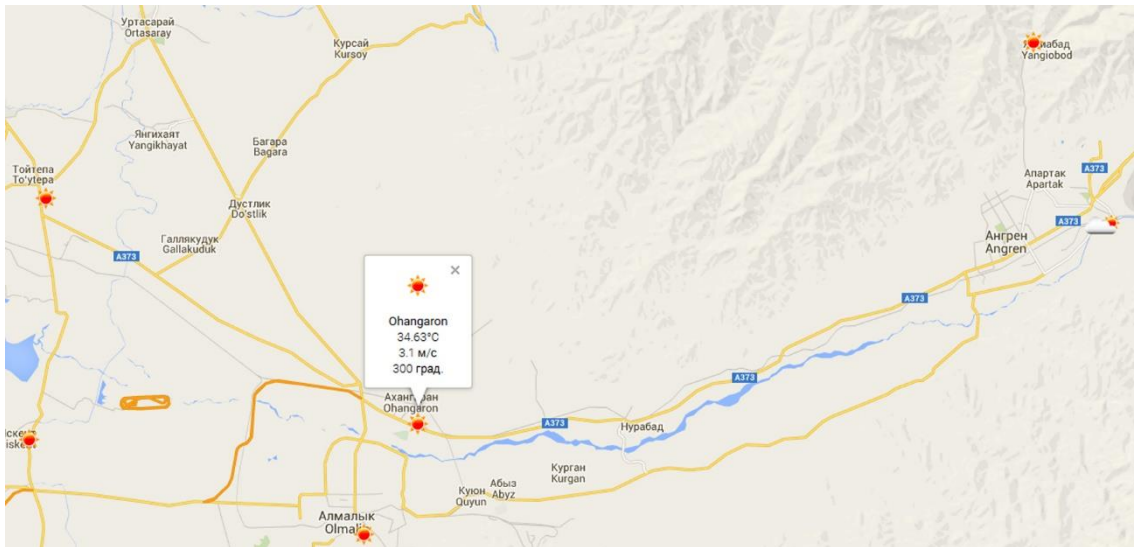


Рисунок 5 - Карта-подложка Google Maps с погодным слоем OpenWeatherMap.

Например, извлечение направления и скорости ветра демонстрируется нижеследующим фрагментом кода.

```
OpenWeatherMap owm = new
OpenWeatherMap("");
CurrentWeather cw =
owm.currentWeatherByCoordinates(40,92, 69,71);
double windDirection =
cw.getWindInstance().getWindDegree();
double windSpeed =
cw.getWindInstance().getWindSpeed();
```

При вычислении составляющих скорости движения воздушной массы U , V , W по направлениям X , Y , Z дополнительно учитываются градиент давления по вертикали и

горизонтали, сила Кориолиса, лучистый поток тепла и поток тепла за счет фазовых превращений водяного пара, приток влажного воздуха в атмосфере. Необходимые для этого метеоданные: давление, температура, влажность и т.д. извлекаются аналогично приведенному выше способу.

Google Maps API содержит широкие возможности для визуализации результатов расчетов. Одной из них является библиотека визуализации тепловых карт, описывающих интенсивность данных на географических точках. Вычисленные значения концентрации вредных веществ θ и область распространения выброса преобразуются в цветной градиент, который отображается на карте в виде полупрозрачного слоя (см. Рис. 6).



Рисунок 6 - Пример визуализации результатов расчета концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы.

Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	ПИИЦ (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

Вывод градиента, отражающего интенсивность значения концентрации вредных веществ в определенной точке, осуществляется простым созданием объекта класса «heatmap»

```
heatmap = new  
google.maps.visualization.HeatmapLayer({  
    data: heatmapData,  
});  
heatmap.setMap(map);
```

При использовании библиотеки GWT-Maps приведенный код имеет несколько отличную форму, но принцип работы «heatmap» остается неизменным. Для формирования слоя с градиентом конструктор принимает в качестве аргумента массив объектов «LatLng» –

координаты точки и соответствующих им объектов «WeightedLocation» – значение веса этой точки.

5. Заключение. Таким образом, с использованием рассмотренных онлайн сервисов была разработана предварительная версия веб-приложения для исследования, мониторинга и прогнозирования процесса распространения вредных выбросов в приземном слое атмосферы. Использование API сервисов вкупе с их постоянным развитием, активной поддержкой и исчерпывающей документацией значительно упрощают разработку собственных программных средств на их основе. Тем самым описанный подход к разработке полностью себя оправдывает.

References:

1. Kaz'mina IG, Uskov VM (2015) Sistemy upravleniya kachestvom atmosfernogo vozdukha na osnove vizualizatsii i transformatsii prostranstvennykh dannykh // Mediko-biologicheskie i sotsial'no-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh. – 2015. – № 3. – pp. 88-92
2. Telegina MV (2009) Vizualizatsiya dannykh sistemy proizvodstvennogo ekologicheskogo monitoringa // Prikladnaya informatika. – 2009. – № 2(20). – pp. 107-114.
3. Kadochnikov AA, Yakubaylik OE (2014) Razrabotka programmnykh sredstv sbora i vizualizatsii dannykh nablyudeniy dlya geoportala Instituta vychislitel'nogo modelirovaniya SO RAN // Vestn. Novosib. gos. un-ta. Seriya: Informatsionnye tekhnologii. – 2014. – T. 12. – Vyp. 4. – pp. 23-31.
4. Ukolov D (2016) OpenWeatherMap – kak entuziasty delayut pogodu // Khabrakhbr : internet resurs dlya IT-spetsialistov. – Available: <http://goo.gl/cVe3WO> (Accessed: 10.08.2016).
5. (2016) Air pollution: ways to forecast and calculate it // OpenWeatherMap. – Available: <http://goo.gl/gslScx> (Accessed: 10.08.2016).
6. (2016) AccuWeather API - International Air Quality // AccuWeather. – Available: <http://goo.gl/JPfzIc> (Accessed: 10.08.2016).
7. (2016) Air Quality Forecasting - How accurate can it be? // Worldwide Air Quality: Free real-time air pollution information - for more than 60 countries in the world. – Available: <http://goo.gl/OmiBXg> (Accessed: 10.08.2016).
8. (2016) Map Web Service: Real-time Air Quality Tile API // Worldwide Air Quality: Free real-time air pollution information - for more than 60 countries in the world. – Available: <http://goo.gl/LL5D6A> (Accessed: 10.08.2016).
9. (2016) Whole model's catalogue // European Topic Centre on Air and Climate Change. – Available: <http://goo.gl/1Up6QV> (Accessed: 10.08.2016).
10. (2016) A visual study of Wind impact on PM2.5 Concentration // Worldwide Air Quality: Free real-time air pollution information - for more than 60 countries in the world. – Available: <http://goo.gl/fhuD1A> (Accessed: 10.08.2016).
11. (2016) Global Forecast System // National Centers for Environmental Information. – Available: <http://goo.gl/a5wU6s> (Accessed: 10.08.2016).
12. Ravshanov N, Sharipov D, Muradov F (2016) Computational experiment for forecasting and monitoring the environmental condition of industrial regions // Theoretical & Applied Science : International Scientific Journal. – 2016. – Vol. 35. – Issue 3. – pp. 132-139. – Doi: <http://dx.doi.org/10.15863/TAS.2016.03.35.22>



Impact Factor:

ISRA (India) = 1.344	SIS (USA) = 0.912	ICV (Poland) = 6.630
ISI (Dubai, UAE) = 0.829	PIHHI (Russia) = 0.234	PIF (India) = 1.940
GIF (Australia) = 0.564	ESJI (KZ) = 1.042	IBI (India) = 4.260
JIF = 1.500	SJIF (Morocco) = 2.031	

13. Ravshanov N, Sharipov D, Narzullaeva N, Toshtemirova N (2016) Online Services' Application For Mathematical And Computer Modelling Of Spread Of Harmful Substances In The Atmosphere // TUIT BULLETIN. – T., 2016. – №1(37). – pp. 40-49.
14. Sharipov D (2016) A Mathematical Model and Computational Experiment for the Study and Forecast of the Concentration of Harmful Substances in the Atmosphere // American Journal of Computation, Communication and Control. – 2016. – № 2(6). – pp. 48-54.
15. Ravshanov N, Sharipov DK, Toshtemirova N (2015) Komp'yuternoe modelirovanie protsessa rasprostraneniya aerosol'nykh vybrosov v atmosfere // Problemy vychislitel'noy i prikladnoy matematiki. – Tashkent, 2015. – № 1. – pp. 16-27. – Available: <http://goo.gl/75uzYF> (Accessed: 10.08.2016).
16. Sharipov DK, Toshtemirova N, Narzullayeva N (2016) Numerical modeling of the spread of harmful substances in the atmosphere taking into account terrain // Problems of computational and applied mathematics. – Tashkent, 2016. – № 1. – pp. 60-71. – Available: <http://goo.gl/CPgK9L> (Accessed: 10.08.2016).
17. Ravshanov N, Muradov FA, Nabiulina LM (2016) Chislennoe modelirovanie protsessa perenosa i diffuzii aktivnykh aerosol'nykh chastits v pogranchnom sloe atmosfery // Problemy vychislitel'noy i prikladnoy matematiki. – Tashkent, 2016. – № 2. – pp. 47-58. – Available: <http://goo.gl/IfchWd> (Accessed: 10.08.2016).

