



УДК 519.816

DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-4-926-935

Модель системы выбора методов получения и хранения данных из разнородных источников для прогнозирования возникновения лесных пожаров

Туркин С.М., Иванов С.А.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова,
Россия, 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5,
E-mail: serg.dinamo19@mail.ru, kemsit@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема выбора методов получения и хранения данных из разнородных источников для прогнозирования возникновения лесных пожаров. Описывается теоретико-множественная модель, связывающая погодные и антропогенные факторы с методами их сбора и хранения. Рассматриваются различные типы данных, такие как погодные условия (температура, влажность, скорость ветра и другие) и антропогенные факторы (уровень урбанизации, концентрация промышленных объектов), а также методы их получения, включая наземные метеостанции, спутниковые наблюдения, радары, лидары, сенсорные системы. Особое внимание уделяется методам хранения информации, таким как реляционные и NoSQL базы данных, озера данных и облачные хранилища, а также архитектурам данных, включая централизованные, распределённые и каркасные архитектуры. В статье предлагаются подходы к интеграции данных для создания моделей прогнозирования лесных пожаров, учитывающих различные источники и методы обработки информации.

Ключевые слова: обработка данных, теоретико-множественное моделирование, методы получения данных, разнородные источники данных

Для цитирования: Туркин С.М., Иванов С.А. 2024. Модель системы выбора методов получения и хранения данных из разнородных источников для прогнозирования возникновения лесных пожаров. Экономика. Информатика, 51(4): 926–935. DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-4-926-935

Model of the System for Selecting Methods for Obtaining and Storing Data from Heterogeneous Sources for Predicting the Occurrence of Forest Fires

Sergey M. Turkin, Sergey A. Ivanov

Saint-Petersburg State Forest Technical University
5 Institutskiy Ln, Saint-Petersburg 194021, Russia
E-mail: serg.dinamo19@mail.ru, kemsit@mail.ru

Abstract. The article addresses the problem of selecting methods for obtaining and storing data from heterogeneous sources to predict the occurrence of forest fires. It describes a set-theoretic model that links weather and anthropogenic factors with methods of data collection and storage. Various types of data are considered, such as weather conditions (temperature, humidity, wind speed, and others) and anthropogenic factors (urbanization level, concentration of industrial facilities), as well as methods for obtaining these data, including ground weather stations, satellite observations, radars, lidars, and sensor systems. Significant attention is given to information storage methods, such as relational and NoSQL databases, data lakes, and cloud storage, as well as data architectures, including centralized, distributed, and framework architectures. The article proposes approaches to integrating data to create models for predicting forest fires, taking into account various sources and methods of data processing.

Keywords: data processing, set-theoretical modeling, data acquisition methods, heterogeneous data sources

For citation: Turkn S.M., Ivanov S.A. 2024. Model of the System for Selecting Methods for Obtaining and Storing Data from Heterogeneous Sources for Predicting the Occurrence of Forest Fires. Economics. Information technologies, 51(4): 926–935 (in Russian). DOI 10.52575/2687-0932-2024-51-4-926-935

Введение

Лесные пожары ежегодно возникают в лесах России на обширных площадях и часто принимают характер стихийного бедствия, приводят к чрезвычайным ситуациям. По данным МЧС России, на территории лесного фонда Российской Федерации ежегодно регистрируется от 10 до 30 тыс. лесных пожаров, охватывающих площади от 0,2 до 2,5 млн га. Ущерб России от лесных пожаров оценивается в 20 млрд рублей в год [Сафонова, Дробушко, 2016].

Сложность моделирования пожара в лесу, согласно [Silva et al, 2017], обусловлена двумя основными причинами: чрезвычайной сложностью физического явления (пожара) из-за гетерогенного топлива и множества влияющих факторов окружающей среды (ветра, относительной влажности и т. п.), а также сложностью проведения натуральных экспериментов для валидации разработанных моделей [Silva et al, 2017; Станкевич, 2018; Иванов, 2024].

В связи с этим использование данных для прогнозирования возникновения лесных пожаров становится неотъемлемой частью процесса управления лесопожарной безопасностью. Однако сложность задачи заключается не только в физической модели пожара, но и в необходимости интеграции данных из разнородных источников, таких как метеорологические данные, информация о состоянии лесного покрова, данные о населённых пунктах и антропогенной деятельности. Эти данные поступают из различных источников с использованием различных методов сбора, начиная от наземных метеостанций и спутниковых наблюдений до сенсоров и мобильных лабораторий. Кроме того, возникают вопросы, связанные с тем, как эффективно хранить такие большие объёмы информации и обеспечивать их быструю обработку. Традиционные реляционные базы данных могут быть не всегда оптимальны для работы с большими массивами временных данных, что подталкивает к использованию новых методов хранения, таких как NoSQL базы данных, озера данных и облачные хранилища [Adriana, Holanda, 2018; Меньшикова, Найденова, 2024].

Таким образом, актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки и применения интегрированной системы сбора, хранения и анализа данных для решения задачи прогнозирования лесных пожаров с учётом разнообразия источников информации и методов их обработки.

Объекты и методы исследования

Ранее был проведен краткий обзор существующих подходов в получении данных для прогнозирования возникновения лесных пожаров [Туркин, Иванов, 2024].

Дистанционное зондирование является одним из самых востребованных методов получения данных о лесных массивах. Оно основывается на использовании спутниковых снимков и аэросъемки для мониторинга изменений в растительности, анализе лесного покрова и оценки уровня биомассы, которая влияет на вероятность возникновения пожаров. Важным преимуществом этого подхода является возможность наблюдения за большими территориями и получение данных, которые можно использовать для прогнозирования природных катастроф, таких как лесные пожары.

Использование мультиспектральных данных, собранных со спутников, позволяет выявлять изменения в растительном покрове, отслеживать динамику высыхания растительности, которая является основным фактором риска пожаров. В дополнение к этому применяются технологии обработки данных LiDAR, которые позволяют оценить структуру лесного массива, его плотность и характеристики биомассы. Современные спутниковые системы, такие как Landsat и Sentinel, обеспечивают регулярный мониторинг лесных массивов с возможностью быстро выявлять аномальные изменения, потенциально указывающие на риск возгорания.



Беспилотные летательные аппараты, или дроны, становятся все более популярными в области экологии и мониторинга лесов благодаря своей высокой маневренности и возможности получения данных с высокой степенью детализации. БПЛА способны охватывать ограниченные, но важные участки лесного массива, предоставляя изображения с высоким пространственным разрешением. Благодаря этому они могут использоваться для создания подробных 3D-моделей лесной местности, которые помогают оценивать рельеф и структуру растительности.

Одним из наиболее ценных применений БПЛА является тепловая съемка, позволяющая фиксировать аномальные температурные зоны, которые могут указывать на наличие очагов пожаров. Эти данные могут быть использованы для быстрого реагирования на потенциальные возгорания и предотвращения их распространения. Возможность оперативного сбора данных на малых высотах позволяет БПЛА функционировать даже в сложных условиях, где традиционные методы мониторинга могут оказаться неэффективными.

С развитием технологий Интернета вещей (IoT) сенсорные сети стали важным инструментом в мониторинге лесных массивов. Сенсоры, установленные в лесах, позволяют в реальном времени отслеживать различные параметры окружающей среды, такие как температура, влажность, ветер и качество воздуха. Эти данные могут использоваться для построения прогностических моделей пожароопасности и принятия решений о мерах предотвращения лесных пожаров.

Системы IoT, обладая возможностью автоматической обработки данных, способны в реальном времени реагировать на изменения, анализируя собранную информацию и отправляя уведомления в случае обнаружения признаков повышенной пожарной опасности. Это существенно сокращает время реакции на потенциальную угрозу, что особенно важно в условиях быстрого распространения лесных пожаров.

С появлением и развитием социальных сетей появился новый подход к мониторингу пожаров, основанный на анализе пользовательской активности и данных, публикуемых в интернете. Геотегируемые фотографии и сообщения в социальных сетях могут служить дополнительным источником информации о фактическом положении дел в лесах. Очевидцы часто быстрее официальных структур могут передать информацию о возникновении пожара, его распространении или последствиях.

Этот вид данных помогает оперативно выявлять новые очаги пожаров и оценивать влияние катастроф на общество и экологию. Более того, благодаря геотегируемым данным можно уточнить географическое положение пожаров, что помогает спасательным службам быстрее локализовать проблему и принять необходимые меры.

Ключевые факторы, влияющие на возникновение лесных пожаров, можно разделить на несколько групп: погодные, антропогенные и природные.

Погодные факторы играют критическую роль в оценке риска возгорания. К ним относятся температура, скорость ветра, уровень влажности, облачность и атмосферное давление. Высокие температуры и низкая влажность делают растительность более подверженной возгоранию, в то время как сильный ветер может значительно ускорить распространение огня и изменить его направление. Облачность и уровень ультрафиолетового излучения также могут оказывать влияние на условия, способствующие возгоранию.

Антропогенные факторы отражают влияние человеческой деятельности на возникновение лесных пожаров. К ним относятся уровень урбанизации, численность населения, состояние систем тепло- и энергоснабжения, а также использование пожароопасных материалов. Плотная застройка и большое количество людей вблизи лесных массивов увеличивают риск случайных возгораний. Кроме того, наличие промышленных объектов и недостатки в технологической безопасности могут служить потенциальными источниками возгораний [Андреев, 1991].

Природные факторы также имеют значение для прогнозирования лесных пожаров. К ним относятся такие аспекты, как доступность потенциальных очагов возгораний, извержения вулканов и особенности растительности. Например, сосняки и хвойные молодняки часто имеют более высокую горючесть, что делает их более восприимчивыми к

возгораниям. Высота над уровнем моря может влиять на климатические условия и, соответственно, на риск возникновения пожаров.

Методы сбора информации можно классифицировать в зависимости от источников данных и используемых технологий [Меньшиков, 2022].

Методы сбора данных о погодных факторах включают в себя использование наземных метеостанций, спутниковых наблюдений и радиозондирования. Наземные метеостанции позволяют получать точные и локализованные данные о температуре, влажности, скорости ветра и других погодных условиях. Спутниковые наблюдения обеспечивают более широкий охват, позволяя собирать информацию о больших территориях и отслеживать изменения в погодных условиях в реальном времени. Радиозонды, в свою очередь, используются для измерения параметров атмосферы на различных высотах, что дает возможность получить более полное представление о метеорологических условиях, способствующих возникновению пожаров.

Для сбора данных об антропогенных и природных факторах применяются различные подходы, включая мобильные лаборатории, датчики и системы дистанционного зондирования. Мобильные лаборатории могут использоваться для проведения исследований в реальных условиях и получения данных о состоянии растительности и наличии горючих материалов. Датчики, размещенные в лесных массивах, позволяют отслеживать изменения в окружающей среде и выявлять потенциальные угрозы. Системы дистанционного зондирования, такие как спутниковые и авиационные наблюдения, помогают собирать данные о состоянии лесов, включая информацию о возможных очагах возгораний.

Методики хранения данных и архитектуры хранения играют ключевую роль в обеспечении эффективного доступа и анализа информации, необходимой для прогнозирования лесных пожаров. Эти подходы помогают организовать данные, полученные из различных источников, и делают их доступными для анализа в реальном времени [Мокрозуб, 2015].

Среди методик хранения данных можно выделить реляционные базы данных и NoSQL. Реляционные базы данных традиционно используются для хранения структурированной информации и позволяют выполнять сложные запросы и обеспечивать целостность данных. Однако, в условиях больших объемов и разнообразия данных, полученных из разных источников, реляционные базы могут оказаться недостаточно эффективными. В этом случае на помощь приходят NoSQL базы данных, которые предназначены для работы с неструктурированными или полуструктурированными данными. Они обеспечивают большую гибкость и масштабируемость, что делает их идеальными для обработки больших массивов информации, таких как данные о погодных условиях и антропогенные факторы.

Еще одним подходом является использование озер данных, которые позволяют хранить данные в их исходном формате, не требуя предварительной обработки или структурирования. Это обеспечивает большую гибкость в работе с данными, позволяя аналитикам использовать различные инструменты для анализа и обработки информации. Озера данных также хорошо подходят для интеграции разнообразных источников информации, таких как данные с наземных метеостанций, спутниковых наблюдений и мобильных лабораторий.

Архитектуры хранения данных также играют важную роль в организации информации. Централизованная архитектура, в которой все данные хранятся в одном месте, обеспечивает простой доступ и управление данными, но может создавать узкие места в производительности при высоких нагрузках. В противоположность этому, распределенные архитектуры позволяют распределять данные по нескольким узлам, что увеличивает масштабируемость и надежность системы.

Дополнительно, использование полиморфных хранилищ позволяет интегрировать различные форматы данных и поддерживать их обработку в зависимости от потребностей пользователей. Лямбда-архитектура, в свою очередь, сочетает в себе обработку данных в реальном времени и пакетном режиме, что позволяет быстро реагировать на изменения условий и принимать обоснованные решения.



Результаты и их обсуждение

Для синтеза структуры системы сбора и хранения данных необходимо определить наборы критериев, влияющих на выбор альтернатив системы. Рассмотрим полученную теоретико-множественную модель задачи синтеза получения и хранения данных из разнородных источников, описываемую следующим кортежем параметров:

$$M = \langle W, N, MW, Si, MN \rangle$$

где:

$W = \langle T_w, S_{w_w}, R_w, Pr_w, Dw_w, H_w, Cl_w, Uf_w, Ts_w \rangle$ – кортеж параметров, описывающий основные характеристики погодных факторов:

T_w – температура;

S_{w_w} – скорость ветра;

R_w – осадки;

Pr_w – давление;

Dw_w – направление ветра;

H_w – влажность;

Cl_w – облачность;

Uf_w – УФ индекс;

Ts_w – время восхода солнца;

$N = \langle Ur_N, Cp_N, Ss_N, St_N, Fm_N, Co_N, Pf_N, T_N, Ca_N, V_N, F_N, Hs_N \rangle$ – кортеж параметров, описывающий основные характеристики антропогенных и природных факторов:

Ur_N – уровень урбанизации;

Cp_N – численность населения;

Ss_N – состояние систем тепло- и энергоснабжения;

St_N – безопасность технологических объектов и оборудования;

Fm_N – использование пожароопасных материалов;

Co_N – концентрация промышленных объектов на территории;

Pf_N – доступность потенциальных очагов возгорания;

T_N – туризм;

Ca_N – ДТП;

V_N – извержение вулканов;

F_N – ельники, сосняки, хвойные молодняки;

Hs_N – высота над уровнем моря.

$MW = \langle M_{Mw}, R_{Mw}, S_{Mw}, Rl_{Mw}, Wm_{Mw}, Hd_{Mw} \rangle$ – кортеж параметров, описывающий основные характеристики методов сбора данных о погодных факторах:

M_{Mw} – наземные метеостанции;

R_{Mw} – радиозонды;

S_{Mw} – спутниковое наблюдение;

Rl_{Mw} – радары и лидары;

Wm_{Mw} – математические модели погоды;

Hd_{Mw} – анализ исторических данных.

Наземные метеостанции включают $M_{Mw} = \{M_{Mw}^1, M_{Mw}^2, M_{Mw}^3, M_{Mw}^4, M_{Mw}^5\}$, где:

M_{Mw}^1 – стационарные метеостанции;

M_{Mw}^2 – климатологические метеостанции;

M_{Mw}^3 – мобильные метеостанции;

M_{Mw}^4 – гидрометеостанции;

M_{Mw}^5 – горные метеостанции.

Спутниковое наблюдение включает $S_{Mw} = \{S_{Mw}^1, S_{Mw}^2, S_{Mw}^3, S_{Mw}^4, S_{Mw}^5\}$, где:

S_{Mw}^1 – геостационарные спутники;

S_{Mw}^2 – гиперспектральные спутники;

S_{Mw}^3 – микроволновые спутники;

S_{Mw}^4 – инфракрасные спутники;

S_{Mw}^5 – радарные спутники.

$S_i = \langle S_{Si}, N_{Si}, D_{Li}, D_{W_{Si}}, D_{C_{Si}}, D_{f_{Si}} \rangle$ – кортеж параметров, описывающий основные характеристики методик хранения информации:

S_{Si} – реляционные базы данных;

N_{Si} – NoSQL;

D_{Li} – озеро данных;

$D_{W_{Si}}$ – хранилище данных;

$D_{C_{Si}}$ – облачные хранилища;

$D_{f_{Si}}$ – файловые системы.

Реляционные базы данных включают $S_{Si} = \{S_{Si}^1, S_{Si}^2, S_{Si}^3, S_{Si}^4, S_{Si}^5, S_{Si}^6, S_{Si}^7\}$, где:

S_{Si}^1 – классические реляционные базы данных;

S_{Si}^2 – облачные реляционные базы данных;

S_{Si}^3 – встраиваемые реляционные базы данных;

S_{Si}^4 – реляционные базы данных с поддержкой горизонтальной масштабируемости;

S_{Si}^5 – колонко-ориентированные реляционные базы данных;

S_{Si}^6 – объектно-реляционные базы данных;

S_{Si}^7 – гибридные реляционные базы данных.

NoSQL базы данных включают $N_{Si} = \{N_{Si}^1, N_{Si}^2, N_{Si}^3, N_{Si}^4, N_{Si}^5, N_{Si}^6, N_{Si}^7\}$, где:

N_{Si}^1 – документо-ориентированные базы данных;

N_{Si}^2 – ключ-значение базы данных;

N_{Si}^3 – колонко-ориентированные базы данных;

N_{Si}^4 – графовые базы данных;

N_{Si}^5 – многомодельные базы данных;

N_{Si}^6 – In-Memory базы данных;

N_{Si}^7 – NewSQL реляционные базы данных.

Файловое хранилище включает $D_{f_{Si}} = \{D_{f_{Si}}^1, D_{f_{Si}}^2, D_{f_{Si}}^3, D_{f_{Si}}^4, D_{f_{Si}}^5, D_{f_{Si}}^6, D_{f_{Si}}^7, D_{f_{Si}}^8, D_{f_{Si}}^9, D_{f_{Si}}^{10}, D_{f_{Si}}^{11}, D_{f_{Si}}^{12}, D_{f_{Si}}^{13}, D_{f_{Si}}^{14}\}$, где: $D_{f_{Si}}^1$ – swap файловая система; $D_{f_{Si}}^2$ – UFS; $D_{f_{Si}}^3$ – JFS; $D_{f_{Si}}^4$ – F2FS; $D_{f_{Si}}^5$ – ZFS; $D_{f_{Si}}^6$ – ReizerFS; $D_{f_{Si}}^7$ – Btrfs; $D_{f_{Si}}^8$ – XFS; $D_{f_{Si}}^9$ – ext; $D_{f_{Si}}^{10}$ – APFS; $D_{f_{Si}}^{11}$ – HFS+; $D_{f_{Si}}^{12}$ – HTFS; $D_{f_{Si}}^{13}$ – exFAT; $D_{f_{Si}}^{14}$ – FAT.

$MN = \langle D_{MN}, S_{MN}, M_{MN}, R_{MN}, V_{MN}, M_{k_{MN}}, Z_{MN}, G_{MN} \rangle$ – кортеж параметров, описывающий основные характеристики методов сбора данных об антропогенных и природных факторах:

D_{MN} – социальные и экономические данные;

S_{MN} – датчики;

M_{MN} – мобильные лаборатории;

R_{MN} – исследование качества воды, почвы;

V_{MN} – сейсмические наблюдения;

$M_{k_{MN}}$ – картографирование и анализ данных;

Z_{MN} – дистанционное зондирование;

G_{MN} – гравиметрические и магнитометрические исследования.

Дистанционное зондирование включает $Z_{MN} = \{Z_{MN}^1, Z_{MN}^2, Z_{MN}^3, Z_{MN}^4, Z_{MN}^5, Z_{MN}^6\}$, где:

Z_{MN}^1 – оптическое дистанционное зондирование;

Z_{MN}^2 – инфракрасное зондирование;

Z_{MN}^3 – микроволновое дистанционное зондирование;

Z_{MN}^4 – радиолокационное зондирование;

Z_{MN}^5 – атмосферное звуковое зондирование;

Z_{MN}^6 – гиперспектральное зондирование.

$A = \langle C_A, L_A, K_A, P_A, D_A \rangle$ – кортеж параметров, описывающий основные характеристики архитектуры хранения данных:

C_A – централизованная архитектура;

L_A – Lambda архитектура;

K_A – Карра архитектура;

P_A – полиглотное хранение;

D_A – архитектура Озера данных.



Концептуальная модель задачи синтеза системы сбора и хранения данных из разнородных источников для прогнозирования возникновения лесных пожаров представлена на рис. 1.

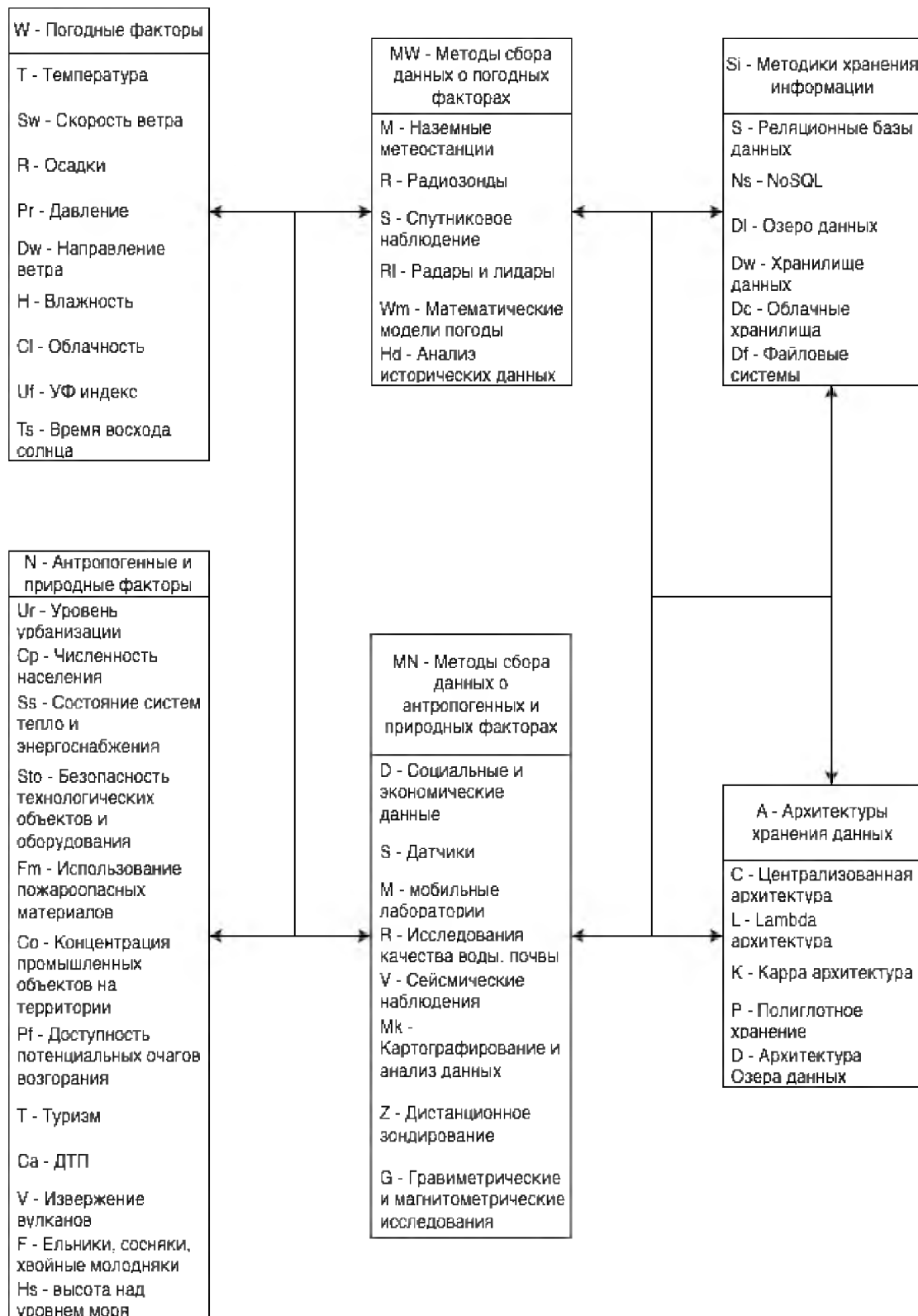


Рис. 1. Концептуальная модель задачи синтеза системы сбора и хранения данных из разнородных источников для прогнозирования возникновения лесных пожаров
 Fig. 1. Conceptual model of the problem of synthesizing a system for collecting and storing data from heterogeneous sources to predict the occurrence of forest fires

Заключение

В ходе исследования была рассмотрена проблема выбора методов получения и хранения данных из разнородных источников для прогнозирования возникновения лесных пожаров. Выявлено, что точные прогнозы зависят от интеграции различных факторов, включая погодные условия и антропогенные факторы. Погодные факторы, такие как температура, влажность и скорость ветра, играют решающую роль в оценке риска возгорания, в то время как антропогенные факторы, включая уровень урбанизации и концентрацию промышленных объектов, существенно увеличивают вероятность возникновения лесных пожаров.

Также были представлены различные методы сбора данных, такие как наземные метеостанции, спутниковые наблюдения и системы дистанционного зондирования, которые обеспечивают разнообразие источников информации для более точного анализа условий, способствующих пожарам. Методики хранения данных, включая реляционные базы данных, NoSQL и озера данных, позволяют эффективно организовывать и обрабатывать большие объемы информации, что является необходимым условием для успешного прогнозирования.

Актуальность разработки интегрированной системы сбора, хранения и анализа данных для прогнозирования лесных пожаров становится все более очевидной в свете увеличения частоты и масштабов лесных пожаров. Разработка эффективных подходов к управлению данными, а также выбор оптимальных методик хранения и архитектур хранения, позволяют повысить точность прогнозов и улучшить реакцию на потенциальные угрозы [Dubrovskaya et al, 2020].

В дальнейшем исследования должны сосредоточиться на оптимизации существующих методик и технологий, а также на разработке новых алгоритмов и моделей, способных учитывать все разнообразие факторов, влияющих на возникновение лесных пожаров. Применение современных технологий, таких как машинное обучение и аналитика больших данных, может значительно повысить эффективность систем мониторинга и управления лесопожарной безопасностью.

Таким образом, успешная интеграция данных из различных источников и применение передовых методик их обработки и хранения являются ключевыми элементами в борьбе с лесными пожарами и повышении общей безопасности лесных экосистем.

Список литературы

- Андреев Ю.А. 1991. Влияние антропогенных факторов на возникновение лесных пожаров (на примере Красноярского Приангарья): специальность 06.03.03 «Агроресомелиорация, защитное лесоразведение и озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними» автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук. Красноярск, 22 с.
- Иванов С.А. 2024. Модель экспертной системы прогнозирования лесных пожаров на основе байесовской сети доверия. Информационные технологии. 30(3): 124–132.
- Меньшиков Я.С. 2022. Преимущества автоматического сбора данных в сети Интернет над ручным сбором данных. Universum: технические науки. 10-1(103): 33–36.
- Меньшикова Л.В., Найденова Д.М. 2024. Обзор изменений языка структурированных запросов SQL к реляционным базам данных: от SQL-2003 до SQL-2023. Эволюционные процессы информационных технологий: Сборник научных статей 9-й Международной научно-технической конференции, Москва, 04 марта 2024 года. Москва: Институт гуманитарных наук, экономики и информационных наук. 303–312.
- Мокрозуб В.Г. 2015. Структура базы данных для хранения спецификаций изделий с взаимозаменяемыми элементами. Информатика: проблемы, методология, технологии: материалы XV международной научно-методической конференции, Воронеж, 12–13 февраля 2015 года. Том 3. Воронеж: Воронежский государственный университет, 332–336.
- Сафонова Н.Л., Дробушко А.Г. 2016. ГИС-технологии для прогнозирования лесных пожаров.



- Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 1-2(5): 38–40.
- Станкевич Т.С. 2018. Применение сверточных нейронных сетей для решения задачи оперативного прогнозирования динамики распространения лесных пожаров. Бизнес-информатика. 4(46): 17–27.
- Туркин С.М., Иванов С.А. 2024. Анализ методов получения данных из разнородных источников для оценки уровня пожароопасности лесного массива. Информационные системы и технологии: теория и практика: Сборник научных трудов. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова. 164–173.
- Adriana J., Holanda M. 2018. NoSQL2: SQL to NoSQL databases. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 746: 938–948. DOI 10.1007/978-3-319-77712-2_89.
- Dubrovskaya O.A., Kostornaya A.A., Solovyeva I.A. et al. 2020. Analysis of the meteorological situation during period of forest fires and smoke-blanketing monitoring in Siberia in 2019. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 17(6): 25–29.
- Silva F.R. et al. 2017. Assessment of crown fire initiation and spread models in Mediterranean conifer forests by using data from field and laboratory experiments. *Forest Systems*. 26(2) [Электронный ресурс]: <http://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/10652> (дата обращения 02.10.2024).

References

- Andreev Yu.A. 1991. The influence of anthropogenic factors on the occurrence of forest fires (on the example of the Krasnoyarsk Angara region): specialty 06.03.03 "Agroforestry, protective afforestation and landscaping of settlements, forest fires and their control": abstract of the dissertation for the degree of Candidate of agricultural Sciences. Krasnoyarsk, 22 p (in Russian).
- Ivanov S.A. 2024. Model of an expert system for forecasting forest fires based on a Bayesian network of trust. *Information technologies*. 30(3): 124–132 (in Russian).
- Menshikov Ya.S. 2022. Advantages of automatic data collection on the Internet over manual data collection. *Universum: technical Sciences*. 10-1(103): 33–36 (in Russian).
- Menshikova L.V., Naidenova D.M. 2024. Overview of changes in the structured SQL query language for relational databases: from SQL-2003 to SQL-2023. *Evolutionary processes of information technologies: Collection of scientific articles of the 9th International Scientific and Technical Conference, Moscow, March 04, 2024*. Moscow: Institute of Humanities, Economics and Information Sciences, 303–312 (in Russian).
- Mokrozub V.G. 2015. Database structure for storing specifications of products with interchangeable elements. *Informatics: problems, methodology, technologies: materials of the XV International Scientific and Methodological Conference, Voronezh, February 12-13, 2015*. Volume 3. Voronezh: Voronezh State University, 332–336 (in Russian).
- Safonova N.L., Drobushko A.G. 2016. GIS technologies for forecasting forest fires. *Problems of ensuring safety in the aftermath of emergencies*. 1-2(5): 38–40 (in Russian).
- Stankevich T.S. 2018. The use of convolutional neural networks to solve the problem of operational forecasting of the dynamics of the spread of forest fires. *Business Informatics*. 4(46): 17–27 (in Russian).
- Turkin S.M., Ivanov S.A. 2024. Analysis of methods for obtaining data from heterogeneous sources to assess the level of forest fire hazard. *Information systems and technologies: theory and practice: Collection of scientific papers*. St. Petersburg: St. Petersburg State Forestry Engineering University named after S.M. Kirov, 164–173 (in Russian).
- Adriana J., Holanda M. 2018. NoSQL2: SQL to NoSQL databases. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 746: 938–948. DOI 10.1007/978-3-319-77712-2_89.
- Dubrovskaya O.A., Kostornaya A.A., Solovyeva I.A. et al. 2020. Analysis of the meteorological situation during period of forest fires and smoke-blanketing monitoring in Siberia in 2019. *Sovremennye Problemy Distantionnogo Zondirovaniya Zemli iz Kosmosa*. 17(6): 25–29.
- Silva F.R. et al. 2017. Assessment of crown fire initiation and spread models in Mediterranean conifer forests by using data from field and laboratory experiments. *Forest Systems*. 26(2) [Electronic resource]: <http://revistas.inia.es/index.php/fs/article/view/10652> (accessed 02.10.2024).

Конфликт интересов: о потенциальном конфликте интересов не сообщалось.

Conflict of interest: no potential conflict of interest related to this article was reported.



Поступила в редакцию 20.10.2024

Поступила после рецензирования 25.11.2024

Принята к публикации 05.12.2024

Received October 20, 2024

Revised November 25, 2024

Accepted December 05, 2024

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Туркин Сергей Михайлович, аспирант 2-го года обучения, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

Иванов Сергей Александрович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационных систем и технологий, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey M. Turkin, 2nd year Postgraduate student, Saint-Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, Russia

Sergey A. Ivanov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Information Systems and Technologies, Saint-Petersburg State Forest Technical University St. Petersburg, Russia